

Universitätsspital Zürich
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. K. W. Grätz

Arbeit unter Leitung von PD Dr. med. Dr. med. dent. Heinz-Theo Lübbers

**Wiederhol- und Reproduzierbarkeit der anthropometrischen
kraniofazialen Landmarkenbestimmung mit dem 3dMD-
Fotosystem zwischen unterschiedlichen Untersuchern**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Rebecca Ort
aus Deutschland

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. Dr. med. dent. K.W. Grätz

Zürich 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	5
2 Einführung	7
2.1 Anthropometrie.....	7
2.2 3D-Techniken zur Gesichtsvermessung.....	9
2.2.1 Laserscanning	9
2.2.2. 3D-Digitalisierung	11
2.2.3 3D-Fotogrammetrie	12
2.2.4 3D-Stereofotogrammetrie	15
2.2.5 Vor- und Nachteile Anthropometrischer Messmethoden.....	21
3 Zielsetzung.....	22
4 Material und Methoden	23
4.1 3dMD Imaging System.....	23
4.2 Stichprobe.....	23
4.3 Daten	24
4.4 Markierung / Digitalisierung der Bezugspunkte.....	24
4.5 Operative Definitionen.....	25
4.6 Statistische Auswertung	26
4.6.1 Mittlere Abweichung	26
4.6.2 Abstand der Landmarken	27
5 Resultate	28
5.1 Markierung / Digitalisierung (Qualitative Daten)	28
5.2 Quantitative Daten	28
5.2.1 Abweichungen der Landmarken	29
5.2.2 Gesamtabweichung	31
5.2.3 Ergebnisse der einzelnen Fotos / Testpersonen.....	33
5.3 Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersucher	34
5.3.1 Vergleich der mittleren Abweichungen je Landmarke.....	34
5.3.2 Vergleich der Abstände zwischen den von den Untersuchern im Mittel bestimmten Landmarken je Kind	35
5.3.3 Vergleich der mittleren Abweichung beider Untersucher und des mittleren Abstandes der jeweiligen Landmarke.....	51
6 Diskussion.....	53
6.1 Bilderfassung	53
6.2 3dMD	53

6.3 Ergebnisse.....	54
6.3.1 Abweichungen der Landmarken	54
6.3.2 Ergebnisse der einzelnen Fotos / Testpersonen	54
6.3.3 Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersucher	55
6.3.3.1 Vergleich der mittleren Abweichungen je Landmarke.....	55
6.3.3.2 Vergleich der Abstände zwischen den von den Untersuchern im Mittel bestimmten Landmarken je Kind	55
6.3.3.3 Vergleich der mittleren Abweichung beider Untersucher und des mittleren Abstandes der jeweiligen Landmarke.....	56
7 Fazit	57
7.1 Probleme bei der Verwendung des 3dMD-Systems	57
7.2 Weiterführende Studie	58
8 Literaturverzeichnis	59
8.1 Textquellen	59
8.2 Bildquellen	69
9 Danksagung.....	70
10 Anhang	71
10.1 Definitionen von fazialen Weichteillandmarken.....	71
10.2 Tabellarischer Anhang der erhobenen Messdaten	74
11 Curriculum Vitae	101

1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde die mittlere Abweichung von anthropometrischen Landmarken auf Gesichtern von Kleinkindern zwischen unterschiedlichen Untersuchern bei Verwendung des 3dMD-Systems untersucht.

Es wurden die selben sieben Fotos von Kleinkindern mit oder ohne kranialer Fehlbildung verwendet, die Brügger [10] verwendete. Die Analyse wurde ebenfalls mit der 3dMD Patient-Software von Imaging International Ltd gemacht.

Genau wie in der Arbeit von Brügger [10] wurden die Landmarken bei jedem der sieben Bilder an fünf aufeinander folgenden Tagen und noch einmal nach sieben Tagen bestimmt. Die auf dem Computerbildschirm bestimmten Landmarken wurden in einer Excel-Tabelle mit den entsprechenden x-, y-, z-Koordinaten abgespeichert. Die Berechnung der mittleren Abweichung beider Untersucher und des mittleren Abstandes der jeweiligen Landmarke erfolgte ebenfalls mithilfe des Excel-Programmes.

Wie zu erwarten lieferten genau wie bei Brügger Landmarken mit genauen Abgrenzungen, wie Augen- oder Mundwinkel, die geringsten Abweichungen und auch den kleinsten mittleren Abstand zwischen verschiedenen Untersuchern. Landmarken welche über knöcherne Strukturen definiert sind wie das Softgonion weisen die grössten Abweichungen und auch die grössten

Differenzen zwischen den Untersucher auf. Im Vergleich wurden die selben Landmarken bei beiden Untersuchern mit geringen mittleren Abweichungen bzw. mit höheren bestimmt. Tendenziell ist der mittlere Abstand der jeweiligen Landmarke am geringsten bei den Landmarken die von beiden Untersuchern mit der kleinsten mittleren Abweichung bestimmt wurden. Jedoch sind nicht bei allen Landmarken mit niedriger mittlerer Abweichung auch die Abstände zwischen den Untersuchern gering.

Es hat sich gezeigt, dass mit dem 3dMD-System reproduzierbar ähnliche mittlere Abweichungen bei unterschiedlichen Untersuchern erreicht werden. Die mittleren Abstände sind bei den meisten Landmarken gering, wodurch die Eignung für den klinischen Einsatz auch bei unterschiedlichen Untersuchern bestätigt wird.

2 EINLEITUNG

2.1 Anthropometrie

Anthropologie ist die Lehre der biologischen Variabilität des Menschen in Raum und Zeit [51].

Die Anthropometrie, Teil der Anthropologie, ist die Lehre der Ermittlung und der Anwendung der Masse des menschlichen Körpers [54]

Früher wurde die Anthropologie verwendet um Aussagen über Gesichtsproportionen und die Ästhetik zu machen. Anthropologische Aussagen sind rein subjektiv, da dabei nur eine optische Beurteilung gemacht wird. Um das Ergebnis nach ästhetischen und rekonstruktiven chirurgischen Eingriffen im Mund–Kiefer–Gesichtsbereich beurteilen zu können und auch während des Eingriffs Anhaltspunkte zu haben, sind objektiv messbare Daten nötig. Anthropometrische Messmethoden wurden entwickelt, um diese Schwierigkeiten zu überwinden [26].

Anthropometrische Aussagen für Gesichtspropotionen und Grösse sind wichtiger Bestandteil der Kiefer – und Gesichtschirurgie, der Kieferorthopädie und der plastischen Chirurgie. Farkas vermass mehr als 100 Grössen und Grössenverhältnisse bei hunderten von Patienten und Probanden und definierte Standards für nahezu jede kraniofaziale Messgrösse [22; 24; 26].

Seit der griechischen Epoche wurde das Gesicht als Teil des menschlichen Körpers vermessen. Im Unterschied zur modernen Anthropologie wurden in früherer Zeit die objektiven Grössen und Proportionen abgelehnt. Die Künstler und Wissenschaftler beschrieben die Grössen und Proportionen nach ihren Vorlieben.

In der rekonstruktiven und plastischen Chirurgie werden mit anthropometrischen Techniken ermittelte Grössen und Proportionen als Richtwerte bei Deformationen und Disproportionen genommen [57]. Seit 1930 werden die Gesichter von Patienten mit Lippen–Gaumen–Spalten und von Kindern mit fazialen Asymmetrien anthropometrisch untersucht [58]. Direkte anthropometrische Messungen wurden im klinischen Umfeld direkt am Probanden/Patienten mit Instrumenten wie Schieblehre oder Messband durchgeführt [26]. Schwierigkeiten stellen sich bewegende Objekte dar, die das Messen erschweren (z.B. Kleinkinder) und Fehler durch Druck auf die Haut [18].

Deshalb wird häufig eine indirekte Messmethode, die Fotogrammetrie, verwendet. Vorteil dieser Methode ist zudem die Möglichkeit des Archivierens der kraniofaziale Oberflächenmorphologie als Ganzes.

Standardisierte klinische fotografische Techniken sind dafür notwendig. [21; 3; 17; 20; 52]. Die ersten analytischen Studien über das menschliche Gesicht mittels klinischer Fotografie befanden sich auf dem Level der Anthropologie und bestanden aus dem Betrachten eines normalen Fotos des Gesichts.

Jüngere Studien dagegen verwenden standardisierte fotografische Techniken zum Vermessen des Gesichts [21; 63; 25; 17].

Tanner und Weiner zeigten, dass die traditionelle 2D–Fotogrammetrie höchst ungenau sein kann [56]. Fotos und Röntgenbilder zeigen dreidimensionale

Objekte in 2D, also ohne Tiefen und Konturen. Somit ist diese Technik nicht optimal. Bei der Cephalometrie wird die Testperson ionisierender Strahlung ausgesetzt. In den vergangen 30 Jahren wurden deswegen einige neue, non-invasive 3D Technologien entwickelt [48;4] Dies sind z.B. computer-unterstützte Tomografie, 3D-Ultraschall, Oberflächen-Laserscanning [47; 15; 44; 16; 9; 19], Moiré-Topografietechnik [36; 34; 35] und digitale 3D-Fotogrammetrie. Oberflächenwölbungen, Winkel und Volumen des Gesichts können bei diesen Technologien berechnet werden. Die non-invasiv gewonnenen digitalen Datensätze können für spätere Analysen archiviert werden.

2.2. 3D-Techniken zur Gesichtsvermessung

2.2.1 Laserscanning

Als eine zuverlässige Technik, welche auf optischen Prinzipien beruht, ist die Laserscanningtechnik zurzeit die gebräuchlichste Methode zur Oberflächendatenbeschaffung.

Bei dieser aktiven stereoskopischen (3D-) Technik wird mittels eines gebündelten Lichtstreifens aus einer Quelle und eines Detektors der Abstand zum Objekt errechnet. Ein auf die Oberfläche eines Objektes projizierter Laserstreifen wird durch eine Kamera betrachtet. Aus den gemessenen Verzerrungen werden die 3D-Daten für das Objekt errechnet.

Der Laser ist triangulär angeordnet und tastet das Objekt ab während er sich um das Objekt dreht oder indem sich das Objekt um die fixe Lichtquelle dreht. Dadurch kann die Tiefe berechnet werden und die Daten in x-,y-z-Koordinaten übertragen werden. Ein 3D-Modell des Objektes kann mit Computersoftware erzeugt werden.

Die Schwierigkeiten dieser zuverlässigen und präzisen Methode zur 3D-Bilderzeugung liegen in der Langsamkeit des Scanners. Je nach Scanner kann es bis zu 10 Sekunden dauern bis die Bilderfassung abgeschlossen ist. Besonders bei Kindern kommt es zu Bewegungsartefakten bis zur Unbrauchbarkeit der Aufnahme. Diese Verzerrungen machen eine Landmarkenidentifikation schwierig. Bei neueren Modellen sind die Bewegungsartefakte durch eine Bilderfassung in weniger als 1 Sekunde reduziert, aber immer noch zu erwarten.

Aktuelle Anlagen sind als Stereopaar montiert, wie z.B. die Minolta Vivid 900 (910) (Osaka, Japan). In einigen Studien wurde die Exaktheit der Minolta 700 und 900 Scanner bestätigt [39;43]. Die gemessene Genauigkeit der Minolta 700 und 900 Laserscanning Einheit beträgt $1.9 \pm 0.8 \text{ mm}$ respektive $1.1 \pm 0.3 \text{ mm}$. Weitere Studien [33] zeigten eine Exaktheit von $0.56 \pm 0.25 \text{ mm}$ für die Minolta 900 und der Fehler bei der computergesteuerten Registrierung von Links- und Rechts-Scans war $0.13 \pm 0.18 \text{ mm}$. Kau et al. [33] kamen bei der Beurteilung zur Durchführbarkeit der 3D-Messung der Gesichtsmorphologie bei Kindern zu dem Schluss dass die Minolta 900 eine zuverlässige Einschätzung von

Veränderungen im Gesichtsbereich infolge klinischer Intervention oder Wachstum zulässt.

In einer früheren Studie [31] wurde Laserscanning mit Tomografie und Stereofotogrammetrie verglichen. Die 3D-Optic-Disc Analyse zeigte eine Genauigkeit von annähernd 0.5mm bei allen drei Methoden.

2.2.2 3D-Digitalisierung

Bei der 3D-Digitalisierung werden mittels eines Mikroschreibers an einem mechanischen Arm die einzelnen Landmarken berührt und dadurch mittels einer geeigneten Computersoftware ein digitales, dreidimensionales Modell des Gesichtes erstellt.

Der Untersucher spart viel Zeit dadurch, dass die digitalisierten 3D Punkte direkt durch die Softwareapplikation als 3D-Punkte übernommen werden können. Durch das Verbinden von Gesichtspunkten entstehen Linien, die helfen ein Modell des Gesichtes zu erstellen. Abstände zwischen den Landmarken, die über Gesichtswölbungen/ Kurven gehen, können mit den 3D-Oberflächenscans schneller und genauer bestimmt werden [49].

Ozsoy et al. [49] untersuchten die Vor- und Nachteile der 3D-Digitalisierung. Messdaten von Auge, Ohr, Nase und Gesicht von 35 Frauen und 35 Männern wurden verglichen. Diese Messdaten wurden mit der 2D-Fotogrammetrie, der 3D-Digitalisierung und manuell anthropometrisch erhoben und untereinander verglichen. Dabei zeigte sich die digitale 3D-Methode als einfache, robuste und sensible Methode um Messdaten zu erhalten. Die manuelle Anthropometrie zeigte sich nach der 3D-Methode als die zweitkonstanteste und zuverlässigste Methode. Wie die Anthropometrie ist

die 3D-Digitalisierung eine direkte Methode, wodurch sich die selben Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Landmarken ergeben, die von Weichgewebe bedeckt sind. Wird das Weichgewebe durch Druck beim Messen verschoben ändert sich die Position der bestimmten Landmarke und es entsteht ein Messfehler [49].

Obwohl die 3D-Digitalisierungsmethode viele Vorteile gegenüber den anderen Methoden zur Vermessung des menschlichen Gesichts hat, wurde die zweidimensionale fotogrammetrische Methode als die am häufigsten benutzte beschrieben. Dies aus Kostengründen, einfacher Zugänglichkeit und Transportierbarkeit [49; 29; 11].

2.2.3 3D-Fotogrammetrie

3D-Fotogrammetrie bestimmt aus Fotografien und genauen Messbildern eines Objektes seine dreidimensionale Form und ist die Weiterentwicklung der 2D-Fotogrammetrie.

3D-Fotogrammetrie wird in der Medizin und Zahnmedizin seit den 1940er Jahren verwendet. Es ist ein Verfahren zur Erfassung von 3D-Daten und basiert auf dem Prinzip der Triangulation [10].

Wenn ein Objekt räumlich erfasst werden soll, sind Aufnahmen von mindestens zwei Standpunkten notwendig.

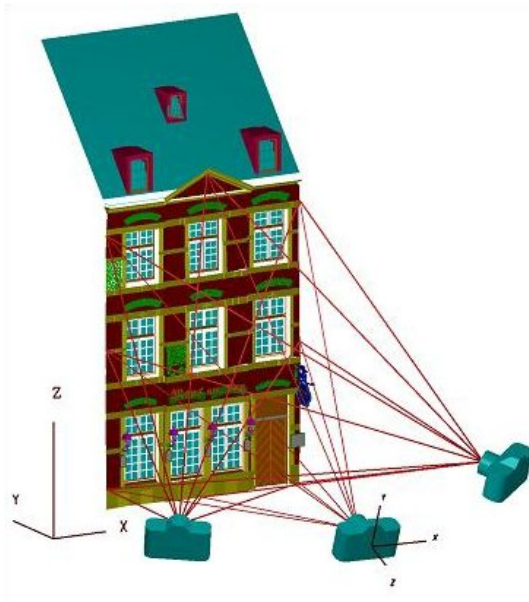


Abb. 1: Prinzip der Triangulation [B1]

Die Auswertung der Aufnahmen erfordert die innere und äußere Orientierung der Kameras. Der Abstand von jeweils zwei Kameras zueinander wird als Basis b bezeichnet, die Strecke von b zum Objekt als Höhe h und die Brennweite der Kameras als c (siehe Abbildung 'Orientierung der Kameras'). Mit diesen ist es möglich über den Strahlensatz unbekannte Größen zu berechnen [46]

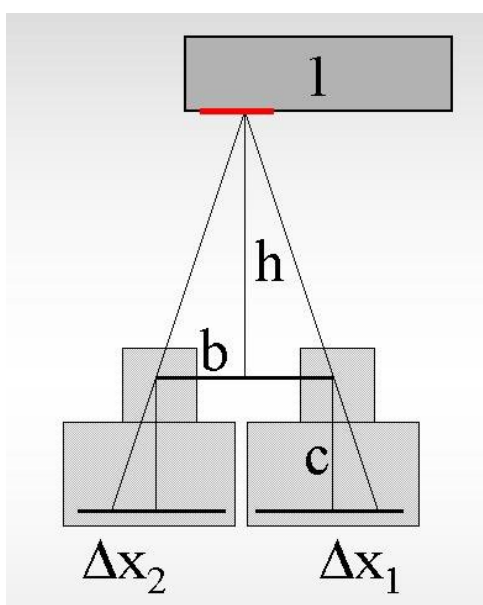


Abb. 2: Orientierung der Kameras [B2]

Um vergleichbar genaue anthropometrische Messungen wie bei der direkten Methode zu machen, modifizierten und standardisierten Tanner und Weiner die Technik [8]. Auch Kihwanet al. zeigten 2009 in einer Studie, dass durch Standardisieren von klinischen fotogrammetrischen Techniken vergleichbar genaue Messwerte erzielt werden wie bei der Anthropometrie [30]. Am wichtigsten beim Standardisieren dieser Techniken ist neben dem Verwenden der immer gleichen Kamera, Lichttechnik und räumlichen Gegebenheiten, dass der Kopf immer in genau der selben Position fotografiert wird. Kleine Abweichungen in der Kopfposition können zu grossen Differenzen bei der Landmarkenbestimmung führen [30].

Frühere Techniken zur 3D-Darstellung von Gesichtsstrukturen verwendeten, wie die Kartografen, Höhenschichtlinienkarten mit unterschiedlichen Teilintervallen. Diese Methode, die auch zur biostereometrischen und volumetrischen Analyse von chirurgisch korrigierten Gesichtsabnormalitäten verwendet wurde war umständlich, benötigte viel Zeit und war teuer [8].

Takasaki entwickelte 1970 eine der frühesten Methoden der strukturierten Lichttechnik, die Moiré-Topografie. Von Höhenschichtlinien überzogene Objekte wurden dabei fotografiert und auf einem Monitor abgebildet. Die Höhenschichtlinien werden durch ein Gitter, dessen Schatten auf das Objekt fällt, erzeugt. Der Fotoapparat muss gleich weit vom Gitter, hinter dem sich das Objekt befindet, entfernt sein wie die Lichtquelle. Das so dargestellte Objekt auf dem Foto wird Moiré-Figur genannt, aus ihnen können dann Masszahlen ermittelt werden [32]. Die Oberflächenstruktur dieser Bilder ist jedoch nicht fotorealistisch.

2.2.4 3D-Stereofotogrammetrie

Weiterentwicklung aus der 3D-Fotogrammetrie ist die dreidimensionale Stereofotogrammetrie. Um die oben erwähnten Einschränkungen beim Scannen des menschlichen Gesichtes zu überwinden wurden verschiedenste 3D-Scanner entwickelt. Mit Geräten neuester Generation und der passenden Software ist es mit der digitalen 3D-Fotometrie möglich, mit einigen Mausklicks die erworbenen, im Vergleich zu früher genaueren Bilder zu bearbeiten (vergrössern, drehen, etc.) und zu vermessen.

In der Literatur wurden einige dieser Typen der digitalen 3D-Fotometrie beschrieben, z.B. die *Fiore 3_D Range camera* (NEC Italia, Via Leonardo da Vinci 97, 20090 Trezzano S/N, MI, Italy.), das *C3D Imaging SystemTM* (Ferranti, Birmingham, UK), *Genex 3D Rainbow Systems* (Genex 3D Technologies Inc., 10605 Concord Street, Suite 500, Kensington, MD 20895, USA), *DSP400 SystemTM* (3dMD, Atlanta, GA), und das *3dMDface SystemTM* System (3dMD Inc., 100 Galleria Parkway, Suite 1070, Atlanta GA 30339, USA) [7; 6; 1; 61; 59; 3; 41; 53; 37; 60].

Einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung dieser Technik leistete 1967 Burke et al. [12].

Unter dem Begriff Stereofotogrammetrie werden jene Verfahren der Bildmessung zusammengefasst, bei denen Objekte aus zwei Messbildern (aufgenommen aus etwas verschiedenen Standpunkten) in ihrer Lage und genauen Form bestimmt ("rekonstruiert") werden [62].

Durch Triangulation wird aus den von verschiedenen Winkeln mit mindestens zwei Kameras aufgenommenen Fotos am Computer ein 3D-Bild rekonstruiert [38]. Die Oberfläche besteht aus einer Ansammlung von Punkten. Jeder dieser Punkte hat eine definierte Position in einem Koordinatensystem, die Strecken zwischen den Punkten können somit einfach errechnet werden. Die Darstellung erfolgt als Gitternetz. Am Computerbildschirm können die Landmarken von einem Benutzer auf der Oberfläche markiert werden. Dies geschieht mithilfe eines Softcursors, der sich den Gesichtskonturen selbstständig anpasst. Die Landmarken erscheinen auf der Oberfläche in Form von farbigen Punkten mit Bezugskoordinaten, welche für spätere Streckenmessungen gespeichert werden können [10]

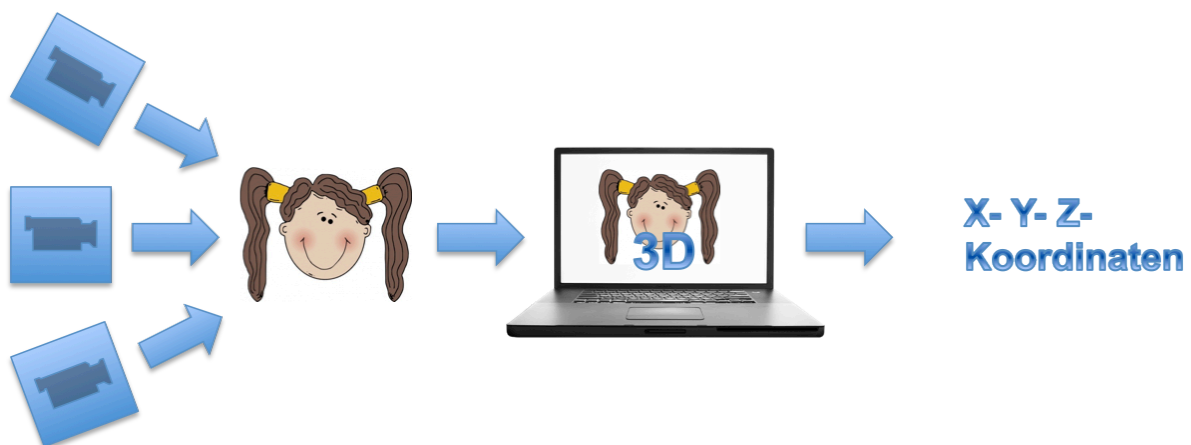


Abb. 3: 3D-Fotogrammetrie

Die 3D-Stereofotogrammetrie hat einige Vorteile gegenüber den oben beschriebenen Methoden.

Durch eine Bilderfassung im Bereich von 2ms werden Bewegungsartefakte minimiert [50]. Da sich die Bilder nicht wie die Gesichter bei der anthropometrischen Methode bewegen sind diese einfacher zu vermessen und es kommt nicht zu Messfehlern durch

Druck auf die Haut, wie es bei der Anthropometrie passieren kann [23]. Die Bilder können abgespeichert und dadurch wiederholt analysiert werden [13; 26]. Die Software ermöglicht, das Bild durch drehen, kippen, zoomen zu bewegen. Dies erleichtert die Identifikation der Landmarken und erleichtert die Messung [59]. Der günstige Preis pro Aufnahme und eine fehlende Strahlenbelastung sind weitere Vorteile [50].

Nachteile der 3D-Stereofotogrammetrie sind hohe Anschaffungskosten der benötigten Geräte, der Software sowie limitierte Verfügbarkeit [40;3;59].

Geringe Differenzen zu anthropometrischen Messungen entstehen da wo anatomische Strukturen bedeckt sind [13; 26].

Es gibt einige Studien, die die hohe technische Genauigkeit dieser Systeme und deren klinische Anwendbarkeit belegen. Aber bevor diese benutzt werden können muss deren Zuverlässigkeit bewiesen sein [42].

Es gibt zwar einige Studien, die sich mit der Zuverlässigkeit und Genauigkeit von Oberflächenscans befassen [5; 14; 27; 55], nicht aber mit den digitalen 3D-stereofotogrammetrischen Apparaturen der neueren Generation.

Die wenigen Studien, die sich mit dem 3dMD digitalen stereofotogrammetrischen System befassten zeigen alle eine genaue Präzision, Reproduzierbarkeit sowie geringen Gesamtfehler [40; 3; 60; 42]. Solche Studien sind wichtig, da mit nicht validierten Technologien

erhaltene anthropometrische Daten unbekannte Messfehler enthalten können und die Reproduzierbarkeit und genaue Messdaten das wichtigste Kriterium einer Messtechnologie sind.

In einer Studie von Littlefield et al [40], in der das 3dMD digitale stereofotogrammetrische System mit einer Hochpräzisionskoordinatenmesseinheit verglichen wurde, betrug der Gesamtfehler weniger als 0.236 mm. Auch Aldrige et al. [3] zeigten einen niedrigen mittleren Fehler, der im Submillimeterbereich lag. Sie bestimmten auf 30 3dMD-Bildern von 15 Menschen 190 Distanzen in zwei Messreihen um die Präzision und die Reproduzierbarkeit der Koordinaten zu testen. Einzig im Bereich der stark von subtilen Bewegungen des Unterkiefers abhängige Lippenkommissur ergaben sich grössere Messfehler. In der Evaluation klinischer Dysmorphologien, deren chirurgischer Korrektur, bei den Analysen von Genotyp-Korrelationen sowie der Vererbung komplexer Phänotypen sehen die Autoren die Verwendung des 3dMD Systems.

In einer Vergleichsstudie zwischen den zwei 3D-Bildgebungssystemen 3dMD und Genex 3D und der Anthropometrie zeigte Weinberg et al. [60] eine hohe Präzision aller drei Systeme (beim gleichen Untersucher). Es wurden vormarkierte Schaufensterpuppenköpfe verwendet. Als Vorteil der 3D-Stereofotogrammetrie sahen die Autoren, dass die Daten der kraniofazialen Oberflächenbestimmung kombiniert und statistisch verglichen werden können.

In einer jüngsten Studie zeigten Lübbers et al [42], dass der Gesamtfehler, verursacht durch technische Fehler der Kamera und Gesichtsbewegungen, im Durchschnitt 0.41 mm beträgt, unter Verwendung des 3dMDfaceTM Systems. Sie untersuchten den Einfluss der Gesichtsbewegungen auf die anthropometrischen kraniofazialen Messungen mit der 3D-Fotogrammetrie. Den Gesamtfehler beeinflussende Faktoren waren Haare, die aufzunehmende Partien überdeckten, sowie nasse Hautpartien, wodurch Artefakte entstehen und prominente Bereiche nicht-prominente verdecken können, was zu einer schlechten 3D-Repräsentation führt. In einer vorherigen Studie zeigten Lübbers et al [42], dass der technische Fehler 0,09mm beträgt.

Alle Methoden zur Bestimmung von Landmarken des Gesichts und des Kopfes enthalten gewisse Nachteile. Die Ursachen hierfür sind je nach System sehr verschieden (z.B. weichgewebebedeckte Landmarken bei den direkten Messmethoden sowie die fehlende Möglichkeit des Wiederholens der Messung auch nach Jahren und durch andere Untersucher, Artefakte durch Bewegungen bei den Aufnahmen bei fotogrammetrischen Methoden etc.).

Obwohl sich mehrere Studien mit dem Messfehler bei direkter Anthropologie, dem 3D-Scannen und der Fotogrammetrie beschäftigt haben, wurde der Messfehler im Zusammenhang mit Apparaturen der neuesten Generation (wie z.B. dem 3dmd-System) noch nicht eingehend untersucht.

In der direkten Anthropometrie und Cephalometrie werden die Daten zu Vergleichszwecken in normalisierten Datenbanken abgespeichert. Eine solche normalisierte Datenbank fehlt zum Abspeichern der mittels 3dMD erworbenen Daten.

Obwohl die 3D-Oberflächenbildgebung in der plastischen Chirurgie und der medizinischen Genetik ein bedeutendes Hilfsmittel ist, gibt es nur wenige Studien, welche die direkte Anthropometrie und neuere Methoden der 3D-Stereofotogrammetrie, wie z.B. das 3dMDface-System vergleichen.

Man kann nicht annehmen, dass sich Daten, die von 3D-Oberflächenabbildungen stammen, gut mit denen der direkten Anthropometrie vergleichen lassen. Tests die mit Laserscannern durchgeführt wurden ergaben grosse Unterschiede bei den Resultaten: von guter Übereinstimmung bis zu starken Diskrepanzen [5]. Um Messungen von direkter und digitaler Anthropometrie zu generalisieren ist also ein Validierungsprozess (z.B. durch Normalisierung) nötig.

2.2.5 Vor- und Nachteile Anthropometrischer Messmethoden

	Vorteile	Nachteile
Direkte Anthropometrische Messmethoden		
1. 3D Digitalisierung:	<ul style="list-style-type: none"> – Zeitsparend, da durch Softwareapplikationen 3D-Punkte direkt übernommen werden – Schnelle und genauere Bestimmung von Abständen die durch Kurven und Gesichtswölbungen gehen – einfach, robust, sensibel – normalisierte Datenbank zum Abspeichern der Datenbank zu Vergleichszwecken 	<ul style="list-style-type: none"> – Messfehler können durch Druck auf die Haut beim messen entstehen – Archivierung für spätere Analysen nicht möglich – sich bewegende Objekte erschweren das messen
Indirekte Anthropometrische Messmethoden		
2. 2D – Fotogrammetrie:	<ul style="list-style-type: none"> – geringe Kosten – einfache Transportierbarkeit – einfache Zugänglichkeit – Möglichkeit des Archivierens 	<ul style="list-style-type: none"> – Tiefen und Konturen werden nicht dargestellt – kann sehr ungenau sein
3. Laserscanning	<ul style="list-style-type: none"> – Zuverlässig und Präzise – Möglichkeit des Archivierens 	<ul style="list-style-type: none"> – Bewegungsartefakte durch Langsamkeit des Scanners
4. 3D– Fotogrammetrie	<ul style="list-style-type: none"> – Möglichkeit des Archivierens – genaue Messwerte 	<ul style="list-style-type: none"> – kleine Abweichungen der Kopfposition kann zu grossen Differenzen bei der Landmarkenbestimmung führen – umständlich, Zeitaufwändig, teuer
5. 3D– Stereofotogrammetrie	<ul style="list-style-type: none"> – Bewegungsartefakte sind gering durch schnelle Bilderfassung – einfacher zu vermessen, da sich die Bilder im Gegensatz zu den direkten Methoden nicht bewegen – Möglichkeit des Archivierens – leichte Identifizierung von Landmarken und Vermessung durch Möglichkeit des Drehens, Zoomens, Kippens und Veränderung des Blickwinkels durch die Software – hohe technische Genauigkeit – hohe Präzision und Reproduzierbarkeit – Daten können kombiniert und statistisch analysiert werden 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Anschaffungskosten – Ungenauigkeiten dort wo sich anatomische Strukturen überdecken – Zuverlässigkeit muss noch bewiesen werden

Tabelle 1: Vor- und Nachteile Anthropometrischer Messmethoden

3 Zielsetzung

Das Ziel der Studie ist, die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit von anthropometrischen Landmarken auf Gesichtern von Kleinkindern mit Hilfe des 3dMD-Systems zwischen unterschiedlichen Untersuchern zu testen.

Dabei soll untersucht werden wie die Abweichungen der einzelnen Landmarken bei verschiedenen Untersuchern variieren

Weiterhin soll untersucht werden wie sich die Distanz der Abweichungswerte verschiedener Untersucher hinsichtlich der Grösse der Abweichung verhält.

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 3dMD Imaging System

Das 3dMD Imaging System ist ein dreidimensionales stereo-fotogrammetrisches Bildgebungssystem.

Die 3D-Bilder werden unter standardisierter Belichtung mit dem stereo-fotogrammetrischen 3dMDface System der Firma 3dMD Inc. hergestellt.

(3dMD Inc., 100 Galleria Parkway, Suite 1070, Atlanta GA 30339, USA)

Laut Hersteller ist die Genauigkeit $< 0,2\text{mm RMS}$ (= Effektivwert = quadratischer Mittelwert) oder besser.

4.2 Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus sechs Fotos von Kleinkindern kraniofazialer Fehlbildung (LKG-Spalte). Analog zu Brügger [10] wurde ein Kind ohne LKG Spalte zusätzlich aufgenommen um fallspezifische Probleme identifizieren zu können. „Alle Bilder wurden mit dem 3dMD Imaging System der Universität Zürich, im Zentrum für Zahnmedizin an der Plattenstrasse 11 in 8032 Zürich gemacht. Alle Kinder sind Patienten der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Die Aufnahmen wurden aus medizinischen Gründen, im Zusammenhang mit Behandlungen durchgeführt. Die Eltern der Kinder haben in die Verwendung der Daten für wissenschaftliche Zwecke eingewilligt. Für

die Verwendung der Abbildungen in dieser Arbeit wurde eine zusätzliche schriftliche Erlaubnis erteilt. “¹

4.3 Daten

Die Daten der Bilder wurden mittels USB Stick auf den Messcomputer übertragen. Damit wurden die Daten die Brügger erfasst und verwendet hat übernommen [10]. Anschliessend erfolgte die Analyse der Bilder mit der 3dMDPatient–Software von Imaging International Ltd.

4.4 Markierung/Digitalisierung der Bezugspunkte

Es wurden die 27 Weichteillandmarken die Brügger ausgewählt hat genommen [10]. Bei jedem der sieben 3D–Fotos wurden digital am Computer die Landmarken bestimmt und die Koordinaten (x, y, z) in einer Excel–Tabelle abgespeichert. An fünf aufeinanderfolgenden Tagen wurden auf jedem Bild die Punkte durch die selbe Person markiert und nach einer Pause von sieben Tagen noch einmal. Um die Genauigkeit zu erhöhen wurde eine Folie auf dem Bildschirm befestigt und die Punkte mit einem Stift markiert und dann mit der Maus angeklickt und in die Excel Tabelle übertragen.

Der Untersucher war zu diesem Zeitpunkt verblindet gegenüber den Vordaten.

¹s. Brügger, Die Vermessung kraniofazialer anthropologischer Bezugspunkte: Untersuchung der zur Festlegung der Genauigkeit unter Einsatz des 3dMD-Fotosystems S. 17



Abb.4: Markierte Landmarken auf dem digitalisierten Bild

4.5 Operative Definitionen

„Die Präzision ist definiert als die Fähigkeit der Vorrichtung, Daten in einer gleich bleibenden Weise zu erfassen. Sie wurde durch Wiederholbarkeitstests (und Reproduzierbarkeitstests) von Laurent Medinger [45] evaluiert.

Wiederholbarkeit ist der Grad an Übereinstimmung zwischen Daten von wiederholten Vermessungen des gleichen Teils unter den gleichen Bedingungen unter Verwendung der gleichen anthropometrischen Technik. Jedes Foto wurde also an verschiedenen Tagen unter den gleichen Bedingungen wiederholt, von derselben Person² digital markiert (= (intraoperator–) Bediener–Fehler).“³

² Die Landmarken wurden von mir auf die oben beschriebene Weise markiert.

³ s. Brügger S. 18

4.6 Statistische Auswertung

4.6.1 Mittlere Abweichung

Mithilfe des Excel-Programms wurden die Mittelwerte der x-, y- und z-Koordinaten von jedem Punkt bei jedem der sieben Fotos errechnet. Bsp.: für das Foto von F.N., Punkt j (Subnasale): $((x_{\text{Tag1}} + x_{\text{Tag2}} + x_{\text{Tag3}} + \dots)/6) = \bar{x}$; $((y_{\text{Tag1}} + y_{\text{Tag2}} + y_{\text{Tag3}} + \dots)/6) = \bar{y}$; $((z_{\text{Tag1}} + z_{\text{Tag2}} + z_{\text{Tag3}} + \dots)/6) = \bar{z}$; $\Rightarrow \bar{a}_{\text{Z.L.}} = (\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$.

Um den jeweiligen Mittelwert der Abweichungen der Messungen zu errechnen wurde folgende Formel verwendet: $\sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)}$. (Bsp.: F. N.: $(j_{\text{Z.L. Diff1}} = |j_{\text{Z.L.}} - j_{\text{Tag1}}| \text{ [mm]})$). Der Mittelwert wurde aus den Differenzen errechnet (= $j_{\text{Z.L. Diff}}$ [mm]).

Bezeichnet wurde der Mittelwert aller Abweichungen auf einem Foto (Bsp.: F.N.) mit $\bar{\text{Diff}}_{\text{Z.L.}}$

Die errechnete mittlere Abweichung jedes Punkte wurde als $\bar{a}_{\text{TotalDiff}}$, $\bar{b}_{\text{TotalDiff}}$, usw. bezeichnet.

4.6.2 Abstand der Landmarken

Die Bestimmung der Abstände zwischen den von den Untersuchern im Mittel bestimmten Landmarken erfolgte anhand der Formel:

Euklidischer Abstand c zweier Punkte im dreidimensionalen Kartesischen Koordinatensystem:

$$c = \{[(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2]\}^{1/2}$$

5 RESULTATE

5.1 Markierung/Digitalisierung (Qualitative Daten)

Nur bei den Bildern von K.F. und A.A. konnten alle Landmarken markiert werden. Nicht auf allen Fotos markiert werden konnten die Punkte s (Stomion: sto), v (Gonion (soft) li), w (Gonion (soft) re), z (Porion (soft) li) und 0 (Porion (soft) re). Alle übrigen Landmarken konnten auf allen Fotos markiert werden.

5.2 Quantitative Daten

Ungenaue Ergebnisse lieferten alle Anthropologischen Punkte die über skelettale Strukturen definiert sind.

Die Landmarken mit den ungenausten Ergebnissen in dieser Studie sind Softgonion links (v) und Softgonion rechts (W).

5.2.1 Abweichungen der Landmarken

(in Millimetern [mm])	A.A.	B.J.	F.N.	J.L.	K.F.	Z.L.	Z.J.	TotalDiff
(aDiff) Glabella	0.941698576	1.88952536	1.040191099	1.641257248	1.114996474	1.366967428	1.092376414	1.298144657
(bDiff) Softnasion	0.608694318	0.573260657	0.676957582	0.733107308	0.602634894	0.460851065	0.582518671	0.605432071
(cDiff) Endocanthion links	0.522648189	0.309102987	0.52307484	0.700020897	0.559843999	0.42962036	0.33563436	0.482849376
(dDiff) Endocanthion rechts	0.923098979	0.330526342	0.404966775	0.421680756	0.339226467	0.303715153	0.278476403	0.428812982
(eDiff) Exocanthion links	0.619905013	0.39414793	0.787413034	0.51568229	0.507075689	0.190223105	0.523012632	0.505351385
(fDiff) Exocanthion rechts	0.381121882	0.39064676	0.408506053	0.311948873	0.347138223	0.43291429	0.467249495	0.391360797
(gDiff) Softorbitale links	0.752360586	1.041547801	1.176386884	1.036951208	1.468480789	0.41542715	1.337406012	1.03265149
(hDiff) Softorbitale rechts	0.552377095	0.99077134	0.822375873	1.038764639	0.790361085	0.84577928	1.031737908	0.86745246
(iDiff) Pronasale	0.479750853	0.909031621	0.741770996	0.44529368	0.560921471	0.460464145	0.69681024	0.613434715
(jDiff) Subnasale	0.550728587	0.355978583	0.580440935	0.585316421	0.392729637	0.468066897	0.20688103	0.448591727
(kDiff) Alare links	0.69422763	0.313151422	0.458304572	1.01598232	0.731927907	0.52085535	0.758614061	0.64186618
(lDiff) Alare rechts	0.569838334	0.907253628	1.393181059	0.867856925	0.618947619	1.042424877	0.683869613	0.869053151
(mDiff) Alar curvature Punkt links	0.495647683	1.13583034	1.219164067	0.362200701	0.83984747	0.445550126	0.449910843	0.706878747
(nDiff) Alar curvature Punkt rechts	0.51316166	0.773012159	0.608849579	0.335266985	0.63869752	0.675927566	0.523149865	0.581152191
(oDiff) Labiale inferius	0.389440445	1.121211271	0.330257124	0.967558709	0.814267564	0.397439637	0.983455222	0.714804282
(pDiff) Labiale superius	2.125603445	0.393902054	0.930765066	0.276599431	0.368230048	0.275247391	1.349951918	0.817185622
(qDiff) Christa philtri links	0.48990168	0.483531684	1.3209985	0.254756648	0.560118948	0.289605163	1.507444784	0.700908201
(rDiff) Christa philtri rechts	1.623860182	0.640475213	0.63035945	0.440740077	0.268465865	0.421108981	0.411274096	0.633754838
(sDiff) Stomion	0.528145669	0.348147349		1.551217925	0.453118644	1.205929689		0.817311855
(tDiff) Cheilion links	0.711342364	0.582369308	0.826670942	1.372539327	0.451364115	0.234133402	0.592177382	0.681513834
(uDiff) Cheilion rechts	1.469964994	0.442131582	2.47430009	0.619427593	0.459078789	0.711554819	0.748357836	0.989259386
(vDiff) Softgonion links	0.627770138		1.829657398	3.375987572	1.930326585		9.15187312	3.383122963
(wDiff) Softgonion rechts	1.345614436		2.288232755	3.541778089	2.236885576	1.648307397		2.212163651
(xDiff) Softpogonion	1.212185349	0.925452679	0.748893906	1.278486336	0.751880372	0.646677168	0.822981884	0.912365385
(yDiff) Softgnathion	0.899976364	1.577386573	0.981755961	1.258166645	1.167452514	1.199407054	1.415208118	1.214193319
(zDiff) Softporion links	0.897231833		1.38002617	0.608830753	0.782224906	0.820134414	0.896303801	0.897458646
(oDiff) Softporion rechts	1.206464898				1.660892143	0.586988687		1.151448576

Tabelle 1

(Für Ergebnisse der einzelnen Tage (z.B.: a_{F.N.Diff1}), siehe Tabellen im Anhang.)

f (Exocanthion rechts: ex re): (genaueste Ergebnisse für diese Landmarke in dieser Studie)

Die mittlere Abweichung von Punkt f, \bar{f}_{Diff} , schwankte zwischen 0.311948873 mm ($=\bar{f}_{\text{Z.L. Diff}}$) und 0.467249495 mm ($=\bar{f}_{\text{B.J. Diff}}$). Im Durchschnitt ($\bar{f}_{\text{TotalDiff}}$) waren es 0.391360797 mm.

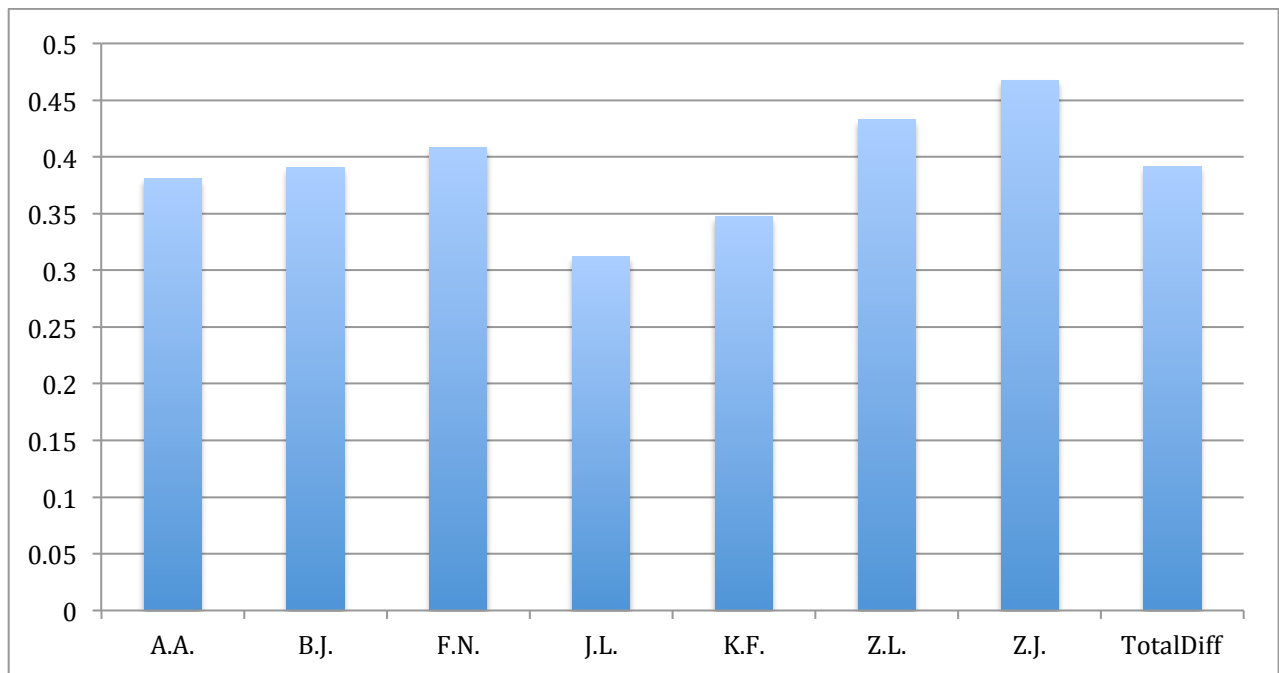


Diagramm 1: \bar{f}_{Diff} (Exocanthion rechts)

v (Softgonion links: go li): (ungenauere Ergebnisse für diese Landmarke in dieser Studie)

Softgonion links konnte nur auf fünf der sieben Fotos markiert werden. Die mittlere Abweichung von Punkt v, \bar{v}_{Diff} , schwankte zwischen 0.627770138 mm ($=\bar{v}_{\text{A.A. Diff}}$) und 9.15187312 mm ($=\bar{v}_{\text{Z.J. Diff}}$). Im Durchschnitt ($\bar{v}_{\text{TotalDiff}}$) waren es 3.383122963 mm.

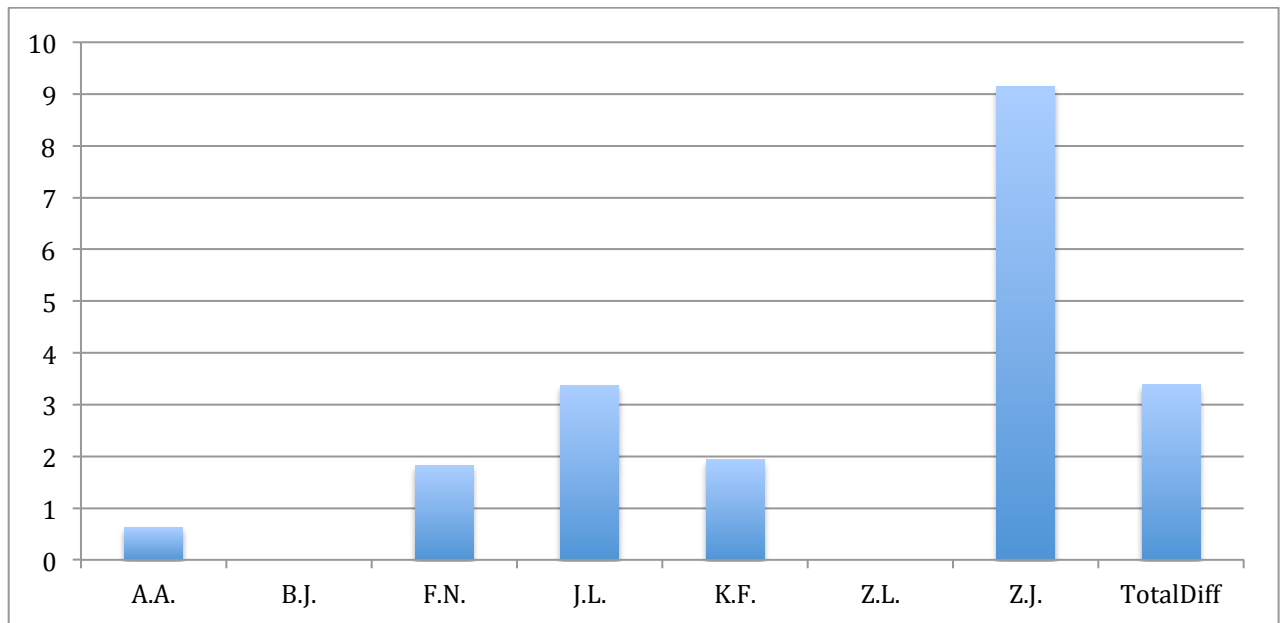


Diagramm 2: \bar{v}_{Diff} (Softgonion links)

5.2.2 Gesamtabweichung

Insgesamt schwankten die Abweichungen (TotalDiff) zwischen 0.391360797 mm ($\bar{f}_{\text{TotalDiff}}$) und 3.383122963 mm ($\bar{v}_{\text{TotalDiff}}$). Die durchschnittliche Abweichung in dieser Studie (alle Punkte betrachtet) lag bei 1.151448576 mm.

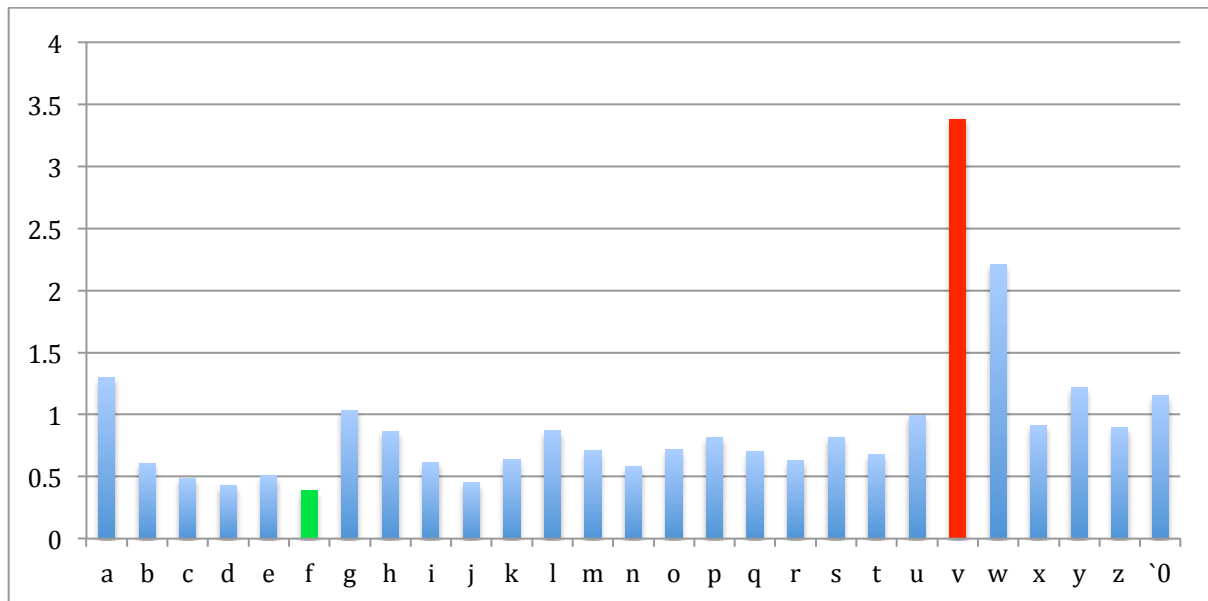


Diagramm 3: zu Tabelle 1

TotalDiff:

< 0.5mm:

- c (Endocanthion links)
- d (Endocanthion rechts)
- f (Exocanthion rechts)
- j (Subnasale)

0.5 < x < 1 mm:

- b (Softnasion)
- e (Exocanthion links)
- i (Pronasale)
- m (Alar curvature links)
- n (Alar curvature rechts)
- o (Labiale inferius)
- p (Labiale superius)
- q (Christa philtri links)
- r (Christa philtri rechts)
- s (Stomion)
- t (Cheilion links)
- u (Cheilion rechts)
- x (Softpogonion)

1 < x < 1.5mm:

- a (Glabella)
- g (Softorbitale links)
- h (Softorbitale rechts)
- k (Alare links)
- l (Alare rechts)
- y (Softgnathion)
- z (Softporion links)
- 0 (Softporion rechts)

1.5 < x < 2mm:

- keine

> 2mm:

- v (Softgonion links)
- w (Softgonion rechts)

5.2.3 Ergebnisse der einzelnen Fotos/Testpersonen

	A.A.	B.J.	F.N.	J.L.	K.F.	Z.L.	Z.J.	TotalDiff
Diff.	0.81973	0.73172	0.98334	0.98298	0.79323	0.63444	1.11861	0.91106

Tabelle 2: Der Mittelwert aller Abweichungen (alle sechs Tage) auf dem jeweiligen Foto in mm

Das Referenzfoto des Kindes ohne Fehlbildung lieferte die genauesten Daten.

5.3 Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersucher

5.3.1 Vergleich der mittleren Abweichungen je Landmarke

Landmarke	Untersucher 1	Untersucher 2
a	1.298144657	1.644786869
b	0.605432071	0.720412538
c	0.482849376	0.331563411
d	0.428812982	0.447759223
e	0.505351385	0.387550354
f	0.391360797	0.263862332
g	1.03265149	1.105916584
h	0.86745246	1.138559149
i	0.613434715	0.540275286
j	0.448591727	0.294704127
k	0.64186618	1.193711776
l	0.869053151	1.430139051
m	0.706878747	0.464373403
n	0.581152191	0.475799148
o	0.714804282	0.723742044
p	0.817185622	0.431135162
q	0.700908201	0.331139331
r	0.633754838	0.37828794
s	0.817311855	0.551307762
t	0.681513834	0.583199269
u	0.989259386	0.432976648
v	3.383122963	2.402470216
w	2.212163651	2.264046231
x	0.912365385	0.90507936
y	1.214193319	1.364721054
z	0.897458646	1.285084005
O	1.151448576	0.932541004

Tabelle 3: Der Mittelwert aller Abweichungen des jeweiligen Untersuchers

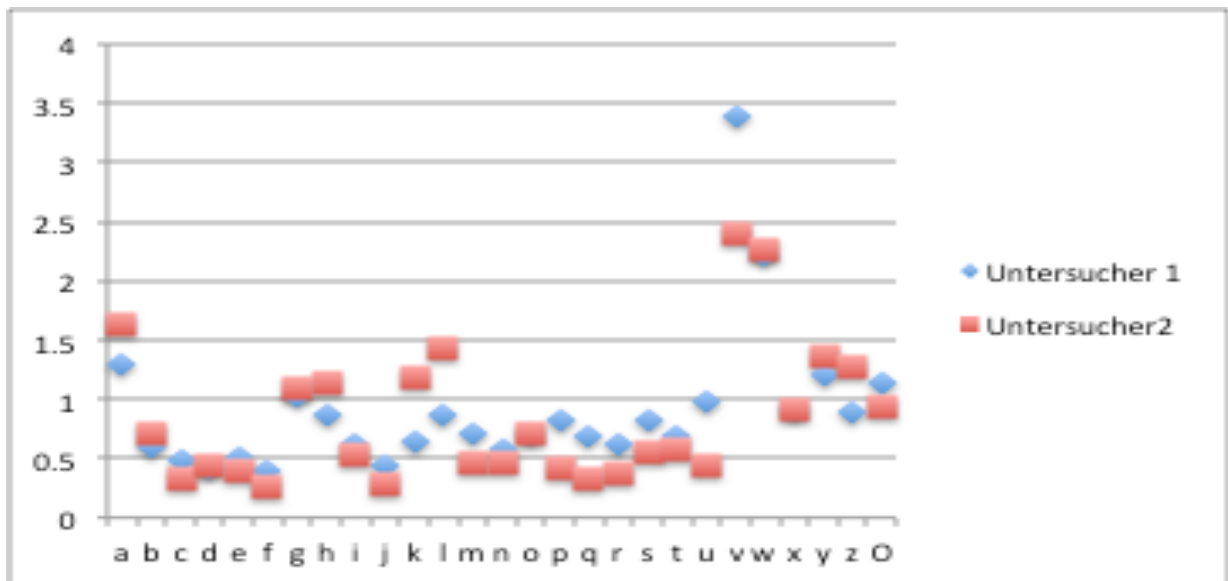


Diagramm 4: zu Tabelle 3

Landmarken, welche von beiden Untersuchern am genauesten (mittlere Abweichung $< 0,5\text{mm}$) bestimmt wurden sind c,d,f,j,. Am ungenauesten (mittlere Abweichung $> 2\text{mm}$) von beiden Untersuchern wurden die Landmarken v und w bestimmt.

5.3.2 Vergleich der Abstände zwischen den von den Untersuchern im Mittel bestimmten Landmarken je Kind

Tabellen 4–10 und Diagramme 5–11: Mittelwerte der Abweichungen der beiden Untersucher und der Abstand zwischen den von den Untersuchern im Mittel bestimmten Landmarken je Kind.

	Koordinaten im Mittel				Koordinaten im Mittel		
A.A.	Untersucher 1			Abstand	Untersucher 2		
a	56.975	20.32666667	84.73333333	4.14130213	55.33666667	18.71833333	81.28666667
b	54.89833333	14.185	63.33666667	0.535352947	54.64833333	13.795	63.06833333
c	43.46	17.84666667	61.21	0.634459525	43.37333333	17.335	60.845
d	65.48166667	18.47333333	59.88	0.6194285	65.565	17.99	59.50166667
e	19.55166667	22.93166667	61.29	1.671925869	20.81666667	22.35166667	60.36333333
f	88.42833333	24.42333333	54.94833333	0.569234379	88.12833333	24.21166667	55.38333333
g	30.74333333	11.14833333	53.17	1.578033234	32.19666667	11.44833333	53.70666667
h	76.39833333	12.50333333	50.20333333	0.586145602	76.95166667	12.5	50.01
i	54.12333333	3.766666667	51.02333333	0.612120631	53.55666667	3.833333333	50.80166667
j	53.56166667	5.076666667	45.9	0.58782556	53.14	5.463333333	45.765
k	36.17666667	1.551666667	45.41	1.968154804	37.36	0.615	46.67333333
l	71.22	2.891666667	41.995	1.138962735	70.72166667	2.441666667	42.915
m	40.22	0.966666667	40.65166667	1.391539914	40.69166667	1.18	41.94333333
n	67.61333333	2.12	38.935	1.951268106	67.78666667	1.66	40.82333333
o	51.21833333	9.611666667	20.73	1.869130814	50.58666667	8.458333333	19.40166667
p	52.39666667	7.935	37.32	1.825666545	51.62	7.036666667	35.93333333
q	42.80333333	2.92	36.71	0.87327767	42.27333333	3.546666667	36.41166667
r	61.51333333	3.395	36.5	1.858904247	63.05833333	4.335	36.07
s	51.60333333	3.58	26.29333333	1.330182736	50.895	4.705	26.33833333
t	33.495	3.756666667	25.46	0.368088154	33.16166667	3.606666667	25.41666667
u	69.01833333	3.323333333	24.27333333	1.171144976	68.00166667	3.72	24.69833333
v	7.208333333	29.70833333	1.068333333	2.856600058	6.906666667	32.11333333	2.58
w	92.74833333	33.40333333	3.855	1.634514879	91.79	32.57333333	4.886666667
x	50.7	10.28	7.561666667	0.706190878	50.02833333	10.305	7.778333333
y	50.35166667	7.505	2.756666667	1.266084296	49.13	7.735	2.516666667
z	2.156666667	58.05666667	27.56333333	4.731456201	2.876666667	56.15	23.29333333
0	103.0683333	58.57333333	21.855	3.249773069	102.7766667	58.42666667	18.62166667

Tabelle 4: Kind A.A.

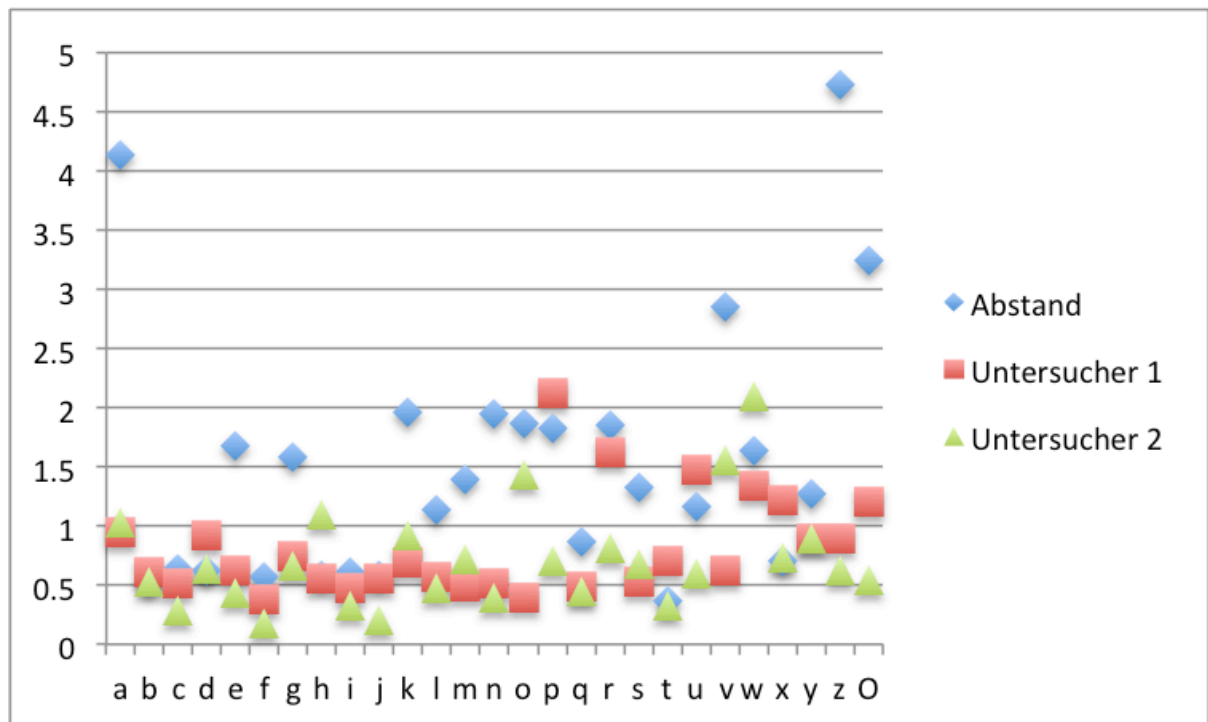


Diagramm 5 zu Tabelle

	Koordinaten im Mittel				Koordinaten im Mittel		
B.J.	Untersucher 1			Abstand	Untersucher 2		
a	55.52666667	26.43166667	26.80166667	4.257747187	55.46666667	24.07166667	23.25833333
b	55.74666667	17.05	11.52833333	2.022940654	56.43	15.52	10.395
c	41.49666667	19.64333333	4.266666667	1.507014156	42.30833333	18.42666667	3.903333333
d	65.44	24.63666667	1.29	0.723129772	65.64833333	24.06333333	0.901666667
e	16.46166667	20.64666667	4.036666667	1.724571605	18.08666667	20.24333333	4.45
f	86.67	30.575	3.171666667	0.475219248	86.43666667	30.16166667	3.195
g	29.55333333	10.56833333	3.183333333	1.091088906	29.955	11.19	2.381666667
h	76.525	17.945	7.708333333	1.479964339	75.265	18.16333333	6.963333333
i	58.65	3.943333333	2.091666667	0.890082705	58.75666667	4.538333333	1.438333333
j	57.89166667	6.628333333	5.298333333	0.585581383	57.74333333	6.733333333	5.855
k	41.00166667	1.083333333	0.991666667	1.465934476	40.73333333	2.265	1.816666667
l	71.05166667	4.845	8.365	0.976241375	70.795	4.163333333	7.715
m	47.50666667	2.641666667	6.673333333	0.621865473	47.11333333	2.16	6.671666667
n	65.38333333	0.591666667	10.82333333	0.891574762	66.21833333	0.848333333	11.00166667
o	54.59833333	14.08833333	28.99166667	0.881143512	54.005	13.95833333	29.63
p	57.07666667	12.34666667	14.305	0.426995316	56.68833333	12.48333333	14.41833333
q	49.70666667	11.29	12.55	1.505436445	51.1	11.615	13.01833333
r	63.45166667	9.951666667	14.45166667	1.137884245	62.88166667	10.675	15.12
s	55.81833333	12.99	21.70833333	0.635778176	55.29	13.33666667	21.77833333
t	37.77	9.661666667	21.71333333	1.676734591	38.93333333	10.3	20.68833333
u	69.50333333	6.946666667	27.39333333	0.387230193	69.76666667	6.795	27.63333333
v	0	0	0	0	0	0	0
w	0	0	0	0	0	0	0
x	54.13166667	14.47333333	36.44833333	1.182343483	53.26666667	14.95	37.09833333
y	52.96166667	14.64833333	46.06666667	1.04734983	51.94	14.87666667	46.09833333
z	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 5: Kind B.J.

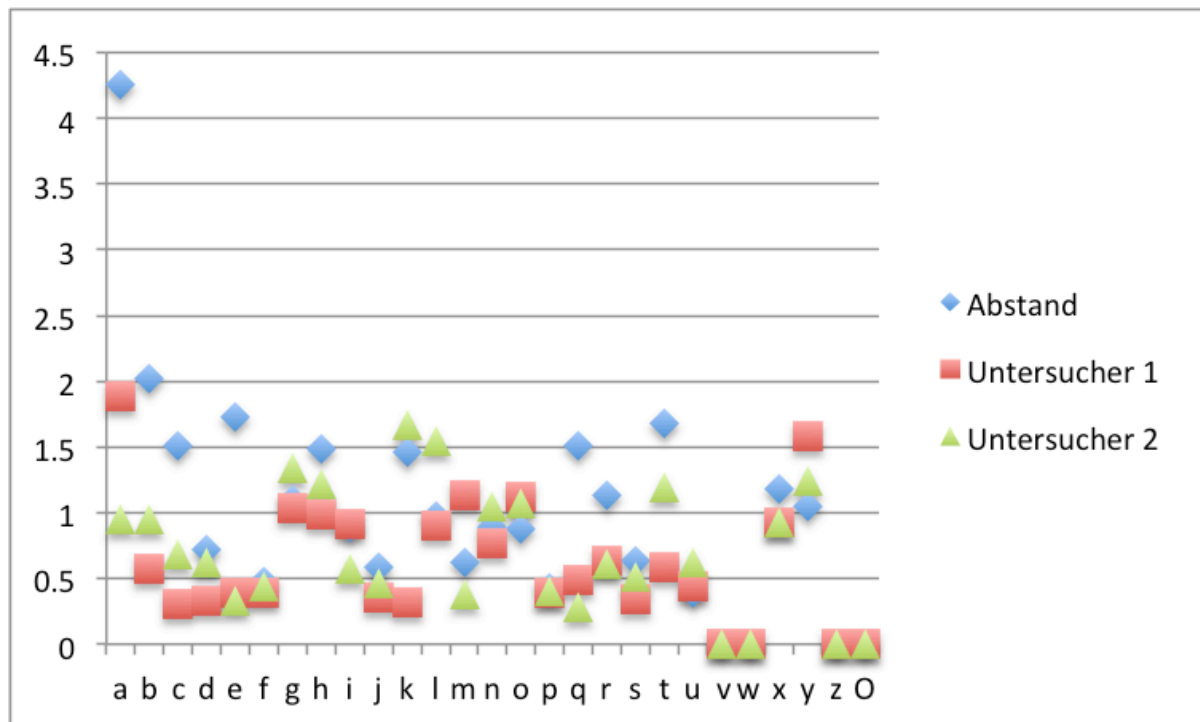


Diagramm 6 zu Tabelle 5

	Koordinaten im Mittel				Koordinaten im Mittel		
F.N.	Untersucher 1			Abstand	Untersucher 2		
a	72.31166667	11.08166667	65.825	2.655955049	70.87	9.396666667	67.28666667
b	71.26	1.661666667	78.21833333	0.159635	71.37833333	1.558333333	78.19
c	57.55666667	11.805	73.49	0.809303541	57.75333333	11.79666667	74.275
d	86.87166667	10.61666667	75.865	0.917622229	86.81	10.64833333	76.78
e	35.98166667	16.89333333	66.265	1.421905998	36.97333333	16.37666667	67.14333333
f	109.0566667	13.59666667	74.40666667	0.457896762	109.3166667	13.72333333	74.76166667
g	45.31666667	18.535	79.08666667	0.900967073	46.065	18.03666667	79.145
h	97.78833333	14.70333333	85.14833333	0.391741128	97.51833333	14.66833333	85.43
i	74.17166667	7.928333333	99.43833333	1.851121282	73.05333333	9.241666667	100.11
j	79.02	17.435	102.305	0.842090652	79.74833333	17.84833333	102.2166667
k	53.90666667	22.61166667	92.865	1.526455589	54.73333333	22.14833333	94.06166667
l	89.94	15.93833333	97.00666667	1.347799647	89.425	14.82	97.555
m	57.98166667	25.615	94.62666667	1.115163167	57.23166667	24.79166667	94.68333333
n	85.43	18.04166667	99.29333333	0.293300188	85.55333333	18.17833333	99.52166667
o	68.11166667	51.18833333	112.3666667	0.397513103	68.46833333	51.25666667	112.5283333
p	72.46666667	24.54666667	100.6433333	3.926277924	75.105	22	102.0466667
q	57.74	29.4	96.54833333	0.570939771	57.295	29.68333333	96.76666667
r	76.64833333	22.74333333	104.1033333	1.543630281	77.66333333	23.15333333	105.1916667
s	0	0	0	0	0	0	0
t	47.925	42.68833333	99.23833333	2.270441709	48.78333333	44.765	98.91333333
u	91.66666667	40.04166667	106.9266667	2.26534459	92.35166667	41.97333333	105.9616667
v	30.63166667	80	72.56166667	1.735886741	31.55166667	81.21	73.4
w	120.55	73.38833333	82.12333333	4.939135383	117.7416667	77.41166667	82.69
x	68.09333333	68.55833333	118.945	1.309896094	68.46833333	69.71166667	119.44
y	68.26833333	79.31166667	118.4633333	0.438991901	68.675	79.44333333	118.5633333
z	21.965	64.93	39.84166667	3.71435728	22.13	67.83	42.15666667
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 6: Kind F.N.

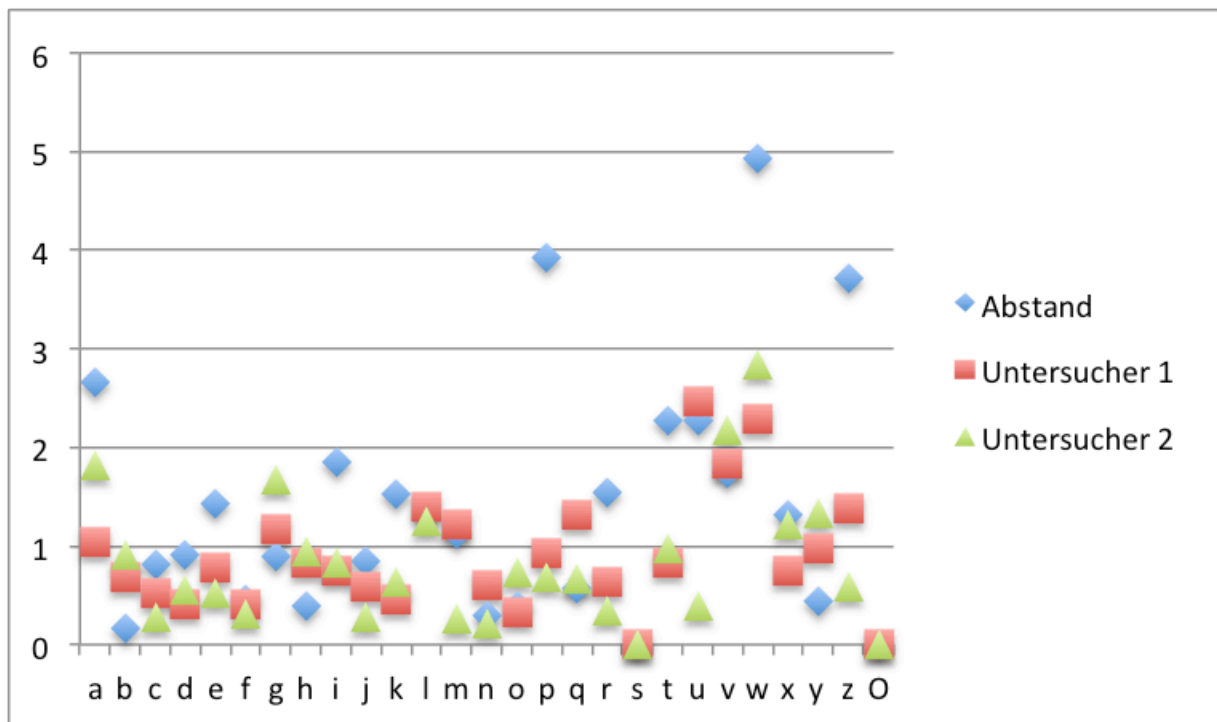


Diagramm 7 zu Tabelle 6

	Koordinaten im Mittel				Koordinaten im Mittel		
J.L.	Untersucher 1			Abstand	Untersucher 2		
a	34.45666667	99.065	80.675	2.706253047	32.89166667	98.02333333	78.72833333
b	31.84333333	86.54166667	64.73	1.997478271	30.935	85.11666667	63.665
c	20.6	92.48166667	56.21	0.721760964	20.095	92.06833333	55.90166667
d	44.62833333	85.79833333	57.38	0.736495078	44.64666667	85.09166667	57.17333333
e	0.685	103.4266667	51.255	1.683398514	2.15	102.5983333	51.29333333
f	67.21666667	82.945	55.40333333	1.312313479	66.04	83.38166667	55.78666667
g	6.245	86.445	49.66833333	1.382124974	7.345	85.64333333	49.90833333
h	53.29	73.08166667	52.88	0.876931202	52.43166667	72.90333333	52.85833333
i	25.42	64.48333333	62.71333333	0.25237208	25.22833333	64.64666667	62.69666667
j	24.975	61.54666667	52.375	0.152970585	25.04166667	61.56333333	52.51166667
k	13.98333333	68.29	52.365	0.513790381	14.19333333	68.31333333	52.83333333
l	37.78	60.97833333	53.18	2.109150698	36.66166667	61.33	54.93333333
m	18.89833333	64.13	49.63666667	0.430597131	19.20166667	64.35666667	49.84166667
n	30.81166667	59.70166667	49.935	0.222928738	30.97333333	59.6	49.82
o	22.91166667	49.44166667	35.23166667	1.598697386	23.28833333	49.475	36.785
p	22.19833333	48.985	45.3	0.219171419	22.15333333	48.835	45.14666667
q	18.005	52.25166667	45.54666667	0.516663978	18.39333333	51.92	45.625
r	27.51	48.97166667	45.55	0.694890079	26.97166667	48.69333333	45.21
s	22.645	48.72333333	39.85	0.547139024	22.81333333	48.57833333	39.35
t	8.625	56.30833333	32.98833333	0.840477708	8.065	56.355	32.36333333
u	39.86666667	45.71166667	34.32	1.417467421	38.56166667	45.975	34.80666667
v	11.56	82.04333333	8.731666667	6.561179814	9.145	83.33	14.695
w	75.76	58.90666667	4.39	6.646900071	72.88333333	59.28833333	10.37
x	20.605	41.69666667	24.22833333	2.650758801	20.855	39.93333333	22.265
y	20.20333333	39.83833333	12.45166667	2.164561156	20.97166667	40.695	10.61833333
z	13.46166667	125.36	0.713333333	1.634614294	13.13666667	123.9616667	1.495
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 7: Kind J.L.

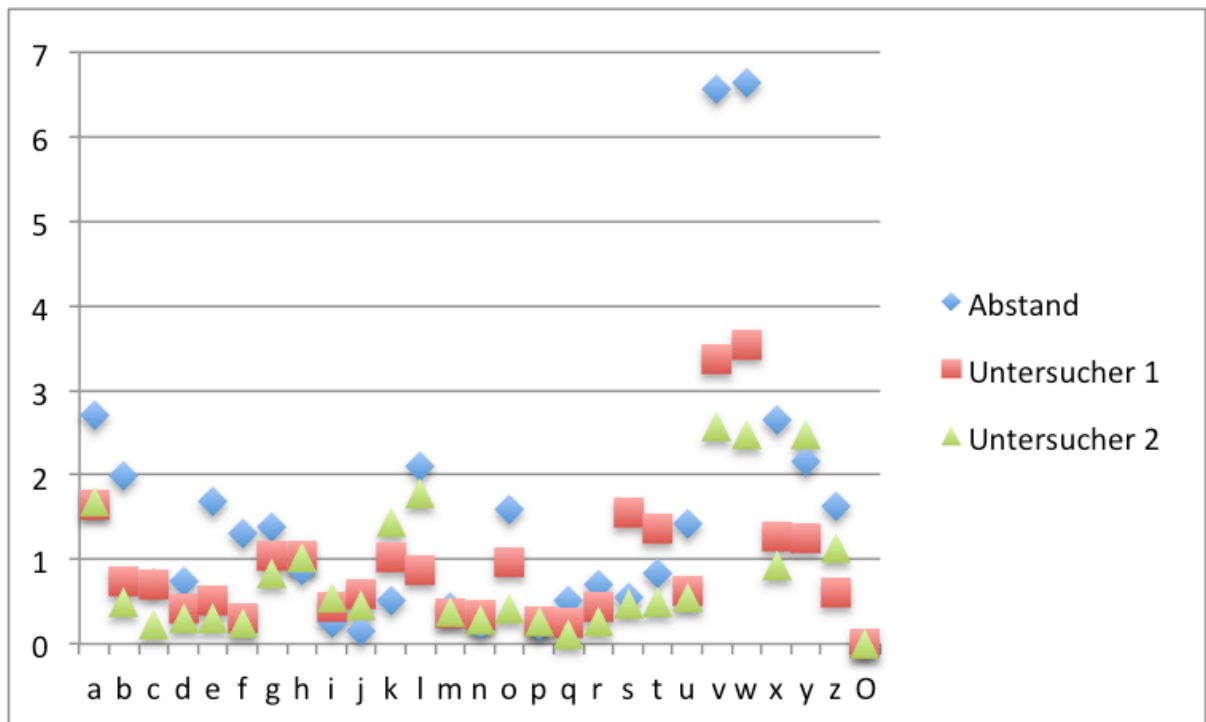


Diagramm 8 zu Tabelle 7

	Koordinaten im Mittel				Koordinaten im Mittel		
K.F.	Untersucher 1			Abstand	Untersucher 2		
a	14.30666667	51.135	111.615	3.219917183	13.73333333	49.02833333	109.2483333
b	16.885	34.41166667	90.79	1.432348499	16.28166667	33.47166667	89.89333333
c	4.585	37.415	76.935	0.693072868	4.53	36.73	77.025
d	32.55166667	36.80166667	83.70666667	1.023375406	32.77	35.84333333	83.42166667
e	19.16666667	41.35666667	66.36	1.021945313	18.43666667	40.655	66.22166667
f	58.17666667	38.675	83.105	0.769433413	57.45666667	38.45	83.25666667
g	6.808333333	26.00833333	67.99833333	3.004572904	4.175	26.36	69.40166667
h	44.26666667	22.95333333	80.01833333	1.873189496	42.45166667	22.505	79.90166667
i	15.11666667	9.063333333	86.26833333	0.264091735	14.97666667	9.223333333	86.425
j	16.45833333	6.241666667	75.485	0.836558758	16.70666667	6.32	74.69
k	4.936666667	12.75166667	73.35666667	0.878429786	5.241666667	12.17	73.94
l	29.26833333	9.798333333	78.27333333	0.429799695	28.86333333	9.928333333	78.335
m	10.94	9.735	71.55166667	0.69717087	11.49333333	9.415	71.83
n	24.03166667	8.098333333	73.00666667	0.821796812	23.715	7.34	73.005
o	18.77166667	11.665	51.07	0.259668592	18.95166667	11.71	50.88833333
p	15.48	5.08	67.135	0.316513121	15.66	5.331666667	67.06833333
q	11.35666667	2.918333333	66.04166667	0.587352818	11.815	3.231666667	66.23333333
r	20.05833333	4.025	69.02	0.345711826	19.97666667	4.258333333	68.77833333
s	18.76666667	4.993333333	53.64166667	1.104558735	18.72833333	6.026666667	54.03
t	5.813333333	3.306666667	48.11	0.644000086	5.418333333	3.806666667	48.01666667
u	33.36	6.933333333	55.255	0.805301876	33.93	7.313333333	54.83166667
v	11.26	24.09166667	2.828333333	3.71305542	10.57	25.42333333	6.225
w	74.01	17.62833333	13.43833333	1.429270404	74.505	17.88166667	14.755
x	21.31833333	21.12666667	37.17166667	0.546491334	21.52666667	21.52166667	36.85666667
y	23.40166667	22.58333333	24.63666667	0.816132478	23.375	23.17166667	25.20166667
z	25.93	68.045	3.098333333	3.695521689	25.03666667	65.28	0.815
0	90.91833333	59.17333333	37.195	2.512679513	90.89666667	57.83	35.07166667

Tabelle 8: Kind K.F.

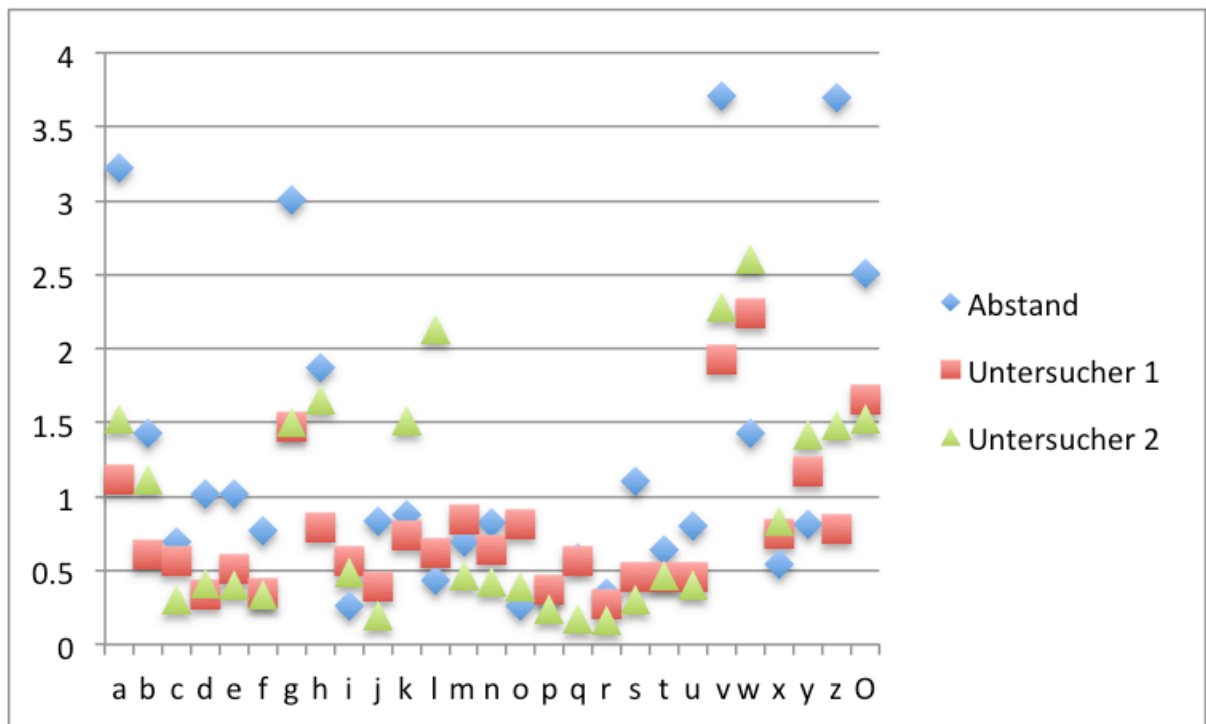


Diagramm 9 zu Tabelle 8

	Koordinaten im Mittel				Koordinaten im Mittel		
Z.L.	Untersucher 1			Abstand	Untersucher 2		
a	19.09333333	110.5116667	70.13833333	2.363298072	18.17333333	109.1816667	68.415
b	16.71333333	102.1133333	59.695	0.764536897	16.52	101.525	59.24666667
c	5.39	106.7116667	53.33166667	0.236842658	5.203333333	106.6366667	53.20666667
d	29.69333333	99.41833333	54	0.619242369	29.83833333	98.93333333	53.64333333
e	11.50166667	116.9116667	48.65333333	0.796495798	10.92	116.4266667	48.9
f	49.22833333	96.18666667	50.83666667	0.522743829	48.85333333	96.30333333	51.18166667
g	6.093333333	102.305	47.52	1.016494521	5.331666667	101.635	47.585
h	36.49666667	88.98166667	48.90833333	0.551324164	36.61333333	88.565	48.56666667
i	11.47	84.455	56.885	0.507482895	11.30166667	84.175	56.49666667
j	11.36666667	82.86333333	48.395	1.053906753	11.195	83.03833333	47.37
k	3.01	91.28833333	47.19333333	2.587678604	3.206666667	89.24333333	48.76666667
l	21.715	83.43833333	48.63666667	1.474363328	20.745	82.82666667	49.56333333
m	6.801666667	86.59	45.72833333	0.450536717	7.143333333	86.32833333	45.86166667
n	17.04333333	82.96	45.88833333	0.262541002	16.94	82.725	45.83333333
o	8.711666667	72.41833333	30.67333333	1.658335008	8.49	72.99666667	29.135
p	8.626666667	75.39666667	41.805	0.116141676	8.566666667	75.42	41.90166667
q	5.441666667	77.49833333	41.87	0.206579283	5.56	77.33	41.88833333
r	12.04833333	74.83	42.08	0.635845893	11.41833333	74.78	42.01
s	9.536666667	75.59166667	36.375	2.139715064	9.211666667	76.29833333	34.38166667
t	1.915	81.035	31.13166667	0.464728116	2.326666667	81.05166667	30.91666667
u	22.63333333	72.37666667	31.38333333	0.431949714	23.00333333	72.21333333	31.23166667
v	0	0	0	0	0	0	0
w	56.00666667	86.685	1.386666667	1.846231898	56.99166667	88.08166667	0.688333333
x	8.355	70.49	22.66	1.164859314	8.51	69.78166667	21.74833333
y	8.401666667	69.47333333	15.22833333	0.73298666	8.815	69.49333333	14.62333333
z	18.025	142.4783333	10.04166667	3.524571684	16.98666667	143.265	6.766666667
0	72.445	111.2	8.781666667	1.17883417	72.13333333	110.7116667	7.755

Tabelle 9: Kind Z.L.

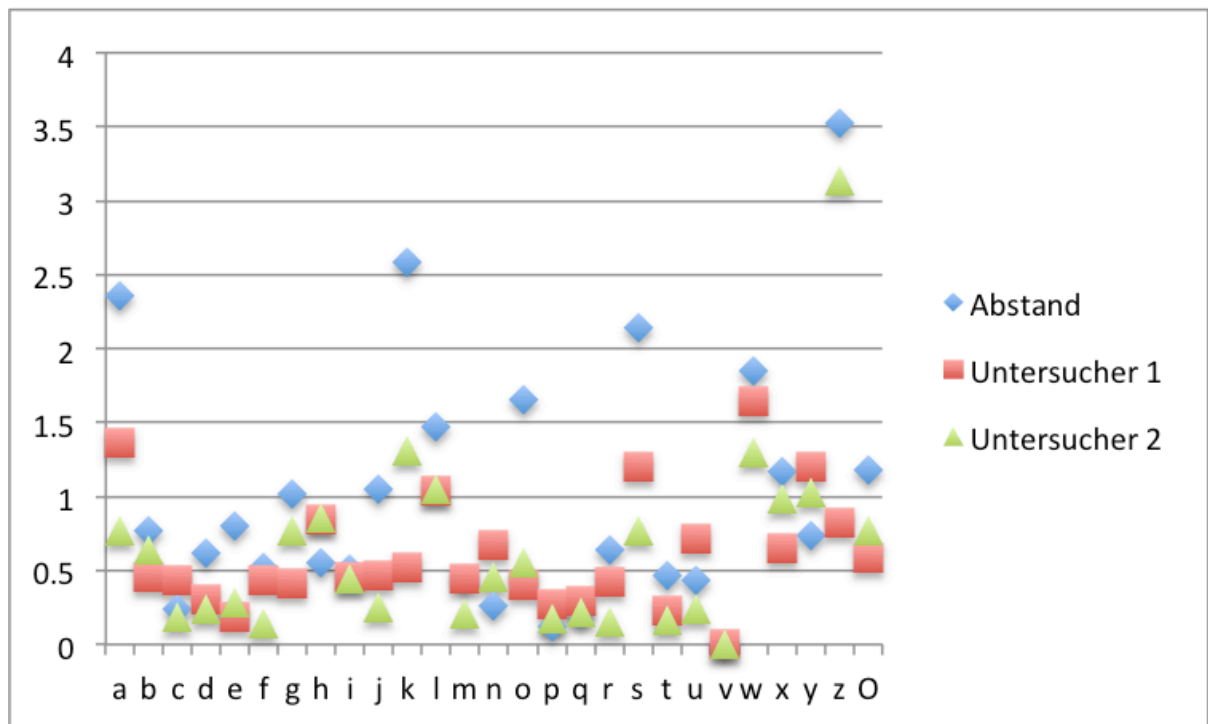


Diagramm 10 zu Tabelle 9

	Koordinaten im Mittel				Koordinaten im Mittel		
Z.J.	Untersucher 1			Abstand	Untersucher 2		
a	26.55666667	18.18166667	45.83333333	1.41008865	26.15166667	18.77166667	44.61833333
b	26.36833333	28.41	29.18666667	0.65220353	26.525	28.87	28.75166667
c	14.55333333	18.725	18.66333333	0.842537503	14.21333333	19.085	17.98166667
d	42.82	26.51333333	22.64833333	0.722013004	43.16666667	26.94333333	22.18333333
e	3.843333333	8.49	13.17333333	1.00872995	3.255	9.24	13.50333333
f	63.92333333	26.43333333	21.48333333	1.606032032	62.54833333	26.90666667	22.165
g	2.67	22.83	7.98	3.426844191	5.366666667	22.375	10.045
h	52.05	35.81833333	15.74	1.50247481	51.08833333	34.92	16.465
i	23.33	50.555	17.445	0.68923871	23.41166667	51.17333333	17.15166667
j	24.08166667	52.35333333	8.606666667	0.748570861	23.885	52.47666667	7.895
k	11.09166667	42.14333333	8.471666667	1.715008098	11.52666667	43.37166667	9.586666667
l	37.78333333	49.27166667	11.05666667	0.726509922	37.41166667	49.215	11.67833333
m	15.05166667	45.65	5.36	0.796330124	15.57333333	45.93166667	5.891666667
n	34.79333333	49.84166667	7.526666667	0.460666787	34.7	49.89166667	7.975
o	24.90333333	62.21666667	19.37	0.272003881	24.67833333	62.28166667	19.23166667
p	22.44166667	58.00333333	1.16	0.154569294	22.51	58.12666667	1.223333333
q	19.86333333	56.81833333	1.605	0.742114097	19.28666667	56.68166667	2.051666667
r	27.79833333	57.97333333	0.618333333	1.529626861	26.31	58.32	0.551666667
s	0	0	0	0	0	0	0
t	12.98666667	47.85333333	16.11166667	1.268035445	13.75	47.73	17.11666667
u	41.95833333	53.90166667	12.28833333	0.681030673	41.84333333	54.08166667	12.935
v	7.743333333	15.07833333	52.43333333	10.29488937	4.165	11.11833333	61.23666667
w	0	0	0	0	0	0	0
x	25.60333333	67.38666667	31.09833333	0.380664623	25.225	67.35166667	31.12166667
y	26.085	68.595	40.86666667	1.046695859	25.40166667	68.80333333	40.10166667
z	12.58	24.46666667	38.10166667	4.318211114	13.245	21.92	41.525
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 10: Kind Z.J.

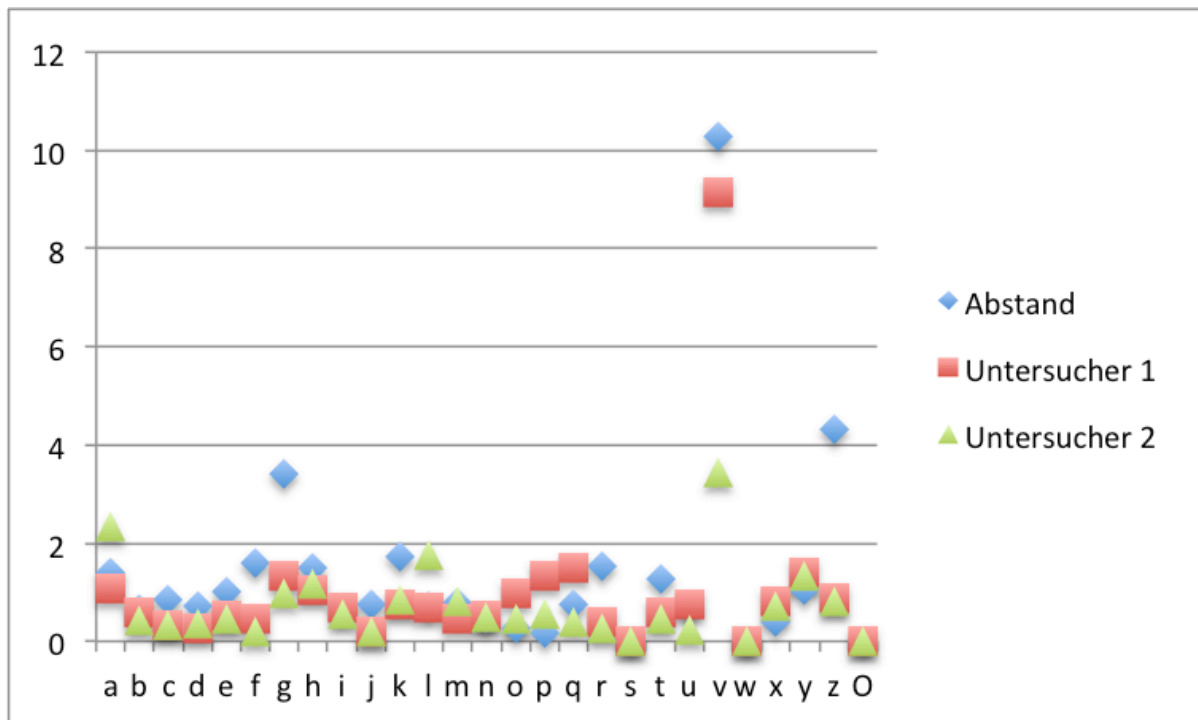


Diagramm 11 zu Tabelle 10

Die Landmarke f die beide Untersucher mit den geringsten mittleren Abweichungen bestimmten, liegt auch im Abstand zwischen beiden Untersuchern nicht $>2\text{mm}$. Bei zwei Kindern lag der Abstand dieser Landmarke $>1\text{mm}$. Bei 5 Kindern lag er $<1\text{mm}$.

Bei der Landmarke v die von beiden Untersuchern mit den grössten mittleren Abweichungen bestimmt wurde, liegt der Abstand beider Untersucher bei 2 Kindern $>2\text{mm}$, bei einem Kind $>10\text{mm}$ und bei 2 Kindern war die Landmarke nicht bestimmbar.

	Mittlere Abweichung		Abstand						
	Untersucher 1	Untersucher 2	A.A.	J.B	N.F.	L.J.	F.K.	L.Z.	J.Z.
f	0.391	0.264	0.569	0.475	0.458	1.312	0.769	0.523	1.606
v	3.383	2.402	2.857	0.000	1.736	6.561	3.713	0.000	10.295

Tabelle 11

5.3.3 Vergleich der mittleren Abweichung beider Untersucher und des mittleren Abstandes der jeweiligen Landmarke.

	mittlere Abw. MW U1 & U2	MW Abstände
a	1.471465763	2.964937331
b	0.662922304	1.080642257
c	0.407206394	0.777855888
d	0.438286102	0.765900908
e	0.446450869	1.332710435
f	0.327611564	0.816124735
g	1.069284037	1.771446543
h	1.003005804	1.03739582
i	0.576855001	0.723787148
j	0.371647927	0.686786365
k	0.917788978	1.522207391
l	1.149596101	1.171832486
m	0.585626075	0.786171914
n	0.528475669	0.700582342
o	0.719273163	0.990927471
p	0.624160392	0.997905042
q	0.516023766	0.714623438
r	0.506021389	1.106641919
s	0.684309809	0.822481962
t	0.632356551	1.076072259
u	0.711118017	1.022781349
v	2.892796589	3.594515915
w	2.238104941	2.356578948
x	0.908722373	1.13445779
y	1.289457186	1.073257455
z	1.091271326	3.088390323
0	1.04199479	0.991612393

Tabelle 12

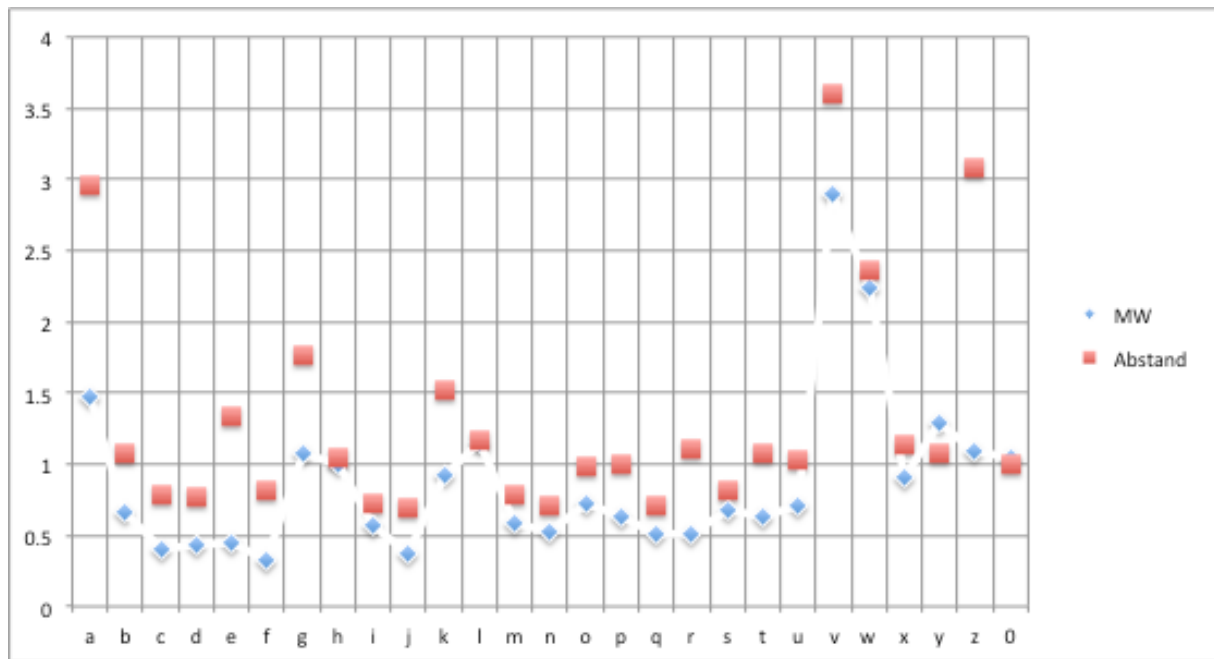


Diagramm 12 zu Tabelle 12

mm	Untersucher 1	Untersucher 2	Abstand
<1	21	18	12
1 bis 2	4	7	11
>2	2	2	4
Summe	27	27	27

Tabelle 13: die mittlere Abweichung aller Landmarken der jeweiligen Untersucher und der mittlere Abstand der einzelnen Landmarken zwischen beiden Untersuchern

Zusammengefasst hatten die Untersuchenden in 66,67% aller Landmarkenbestimmungen eine mittlere Abweichung <1 mm. Bei 38,89% der Landmarken betrug der mittlere Abstand zwischen den Untersuchern <1 mm.

6 DISKUSSION

Medinger zeigte schon 2008 die hohe Präzision des 3dMD-Systems [45]. Die Intraobserver-Variabilität bei der Erkennung/Markierung der Landmarken auf Fotos von Kleinkindern wurde von Brügger [10] ermittelt und die Eignung für den klinischen Einsatz gezeigt. Ziel dieser Studie war es, Variabilitäten zwischen verschiedenen Untersuchern zu ermitteln.

6.1 Bilderfassung

Die Probleme der Bilderfassung wurde von Brügger bereits beschrieben [10]. Durch Bewegungen der Kleinkinder oder Weinen entstehen Verzerrungen. Artefakte entstehen durch die programmbedingten Schwierigkeiten transparente, glänzende oder schattige Oberflächen darzustellen. Es ist somit nicht immer möglich ein ideales Foto zu machen.

6.2 3dMD

Brügger [10] beschrieb bereits den Nachteil der 3D-Fotogrammetrie, knöcherne Bezugspunkte nicht messbar zu machen. Anthropologische Punkte, die über skelettale Strukturen definiert sind, sind auf dem Foto nicht sichtbar. Weiter beschrieben sie den Nachteil der Software bereits markierte Punkte nicht ausblenden zu können während ein weiterer Punkt gesetzt wird. Dadurch ergaben sich Schwierigkeiten bei der Bestimmung einzelner Landmarken, welche durch die Beschriftung zuvor markierter Landmarken

überdeckt waren. In dieser Studie wurde versucht, die dadurch entstehenden Ungenauigkeiten durch Verwendung einer durchsichtigen Folie, die auf dem Bildschirm platziert wurde, zu eliminieren. Die durchschnittliche Abweichung in dieser Studie (alle Punkte betrachtet) lag bei 1.151448576 mm. Bei Brügger lag die durchschnittliche Abweichung mit 0.82032829 mm darunter. Das Platzieren der Folie hat also keine messbar höhere Genauigkeit gebracht. Das Markieren der Landmarken wurde durch das Verwenden der Folie weniger aufwändig, ohne die durchschnittliche Abweichung zu senken.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Abweichungen der Landmarken / Gesamtabweichung

Zu erwarten war, dass genauso wie schon von Brügger [10] beschrieben, Landmarken mit genauen Abgrenzungen die genauesten Ergebnisse erzielten und Punkte, welche über knöcherne Strukturen definiert werden, die ungenauesten. Dies bestätigte sich. Genauso wie bei Brügger [10] war Exocanthion rechts die genaueste Landmarke, Softgonion links die ungenaueste.

6.3.2 Ergebnisse der einzelnen Fotos/Testpersonen

Bereits von Brügger [10] wurde bestätigt, dass bei Kindern ohne Fehlbildung gewisse Punkte einfacher zu bestimmen sind als bei Kindern mit beispielsweise einer Lippenpalte. Dies wurde auch in dieser Studie bestätigt,

da die genauesten Daten das Referenzfoto des Kindes ohne Fehlbildung lieferte.

6.3.3 Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersucher

6.3.3.1 Vergleich der mittleren Abweichungen je Landmarke

Die Differenz der mittleren Abweichung zwischen den Versuchspersonen lag nur bei einer Landmarke über 0,6mm. Bei der Landmarke v (Softgonion links) lag die Differenz bei 0,98mm. Dies ist die Landmarke, die bei beiden Untersuchern die grössten Abweichungen zeigte. Das Diagramm 4 zu Tabelle 3 zeigt, dass die Landmarken, die Untersucher 1 mit einer hohen Genauigkeit bestimmt hat, auch bei Untersucher 2 genauer zu bestimmen waren als Landmarken die bei beiden grössere mittlere Abweichungen zeigten.

6.3.3.2 Vergleich der Abstände zwischen den von den Untersuchern im Mittel bestimmten Landmarken je Kind

Bei 73% der bestimmten Landmarken bei allen Kindern beträgt der Abstand zwischen beiden Untersuchern $< 2\text{mm}$.

Bei nur 2 Kindern lag der durchschnittliche Abstand der beiden Untersucher bei über 50 % der Landmarken $< 1\text{mm}$. Das Kind ohne Fehlbildungen zeigt insgesamt am wenigsten Abweichungen zwischen den Untersuchern.

6.3.3.3 Vergleich der mittleren Abweichung beider Untersucher und des mittleren Abstandes der jeweiligen Landmarke.

Bei den Landmarken bei denen die mittlere Abweichung der beiden Untersucher $< 1\text{ mm}$ beträgt, liegt auch die mittlere Abweichung je Landmarke bei beiden Untersuchern $< 1\text{ mm}$. Liegt der mittlere Abstand der Landmarken zwischen den Untersuchern $> 2\text{ mm}$ dann liegt die mittlere Abweichung der Untersucher $> 1\text{ mm}$. Dies zeigt, dass bei den Landmarken die beiden Untersucher mit einer grossen Genauigkeit (=mittlere Abweichung $< 1\text{ mm}$) bestimmt haben auch der Abstand zwischen den beiden Untersuchern sehr gering war (=mittlere Abweichung je Landmarke zwischen den Untersuchern).

Bei den Landmarken bei denen die mittlere Abweichung beider Untersucher (zusammengefasst) der jeweiligen Landmarke $< 1\text{ mm}$ liegt beträgt auch der mittlere Abstand zwischen den Untersuchern in 61,1% $< 1\text{ mm}$.

7 FAZIT

7.1 Probleme bei der Verwendung des 3dMD-Systems

Bei der Identifikation der Landmarken durch den Bediener ergeben sich Ungenauigkeiten durch Überlagerungen auf dem Bildschirm. Der Versuch dieses Problem mit einer Folienapplikation auf dem Bildschirm zu lösen hat keine messbare Verbesserung der Genauigkeit ergeben. Aufgrund der hohen technischen Präzision des Systems ergeben sich bei der klinischen Anwendung dennoch präzise Messwerte.

Bei Landmarken, die von verschiedenen Untersuchern mit einer hohen Genauigkeit bestimmt werden, ist nicht immer der mittlere Abstand zwischen unterschiedlichen Untersuchern gering. Erklärbar ist dies beispielsweise durch eine unscharfe Definition der Landmarke, welche von beiden Untersuchern unterschiedlich interpretiert wurde, umgekehrt gilt jedoch: Der mittlere Abstand bei Landmarken, die bei einem Untersucher schon grössere mittlere Abweichungen zeigen, ist bei diesen Landmarken grösser.

Die höchste Genauigkeit kann erreicht werden wenn immer derselbe Untersucher die Bestimmung der Landmarken vornimmt. Jedoch erschienen auch die interobservern Variabilitäten klinisch akzeptabel.

7.2 Weiterführende Studie

Es wäre interessant Methoden zu evaluieren über die alle Landmarken mit gleich hoher Genauigkeit zu bestimmen sind. Darüber wären dann weiterführende Studien notwendig, um wiederum die Unterschiede zwischen unterschiedlichen Behandlern zu untersuchen. Die Relevanz für den klinischen Alltag der mittleren Abstände, die sich durch unterschiedliche Untersucher ergeben, ist genauer zu erforschen. Weiterhin wäre es wichtig, die Genauigkeit bei der Bestimmung der Landmarken, die für die klinische Anwendung notwendig ist, herauszufinden um eine Aussage treffen zu können, ob es faktisch überhaupt von Vorteil ist, dass die Messungen immer von der selben Person vornehmen zu lassen.

8 LITERATURVERZEICHNIS

8.1 Textquellen

- [1] Al-Omari I, Millett DT, Ayoub A, Bock M, Ray A, Dunaway D & Crampin L (2003). An appraisal of three methods of rating facial deformity in patients with repaired complete unilateral cleft lip and palate. *Cleft Palate Craniofac J* 40: 530–7.
- [2] Al-Omari I, Millett DT & Ayoub AF (2005). Methods of assessment of cleft-related facial deformity: a review. *Cleft Palate Craniofac J* 42: 145–56.
- [3] Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, DeLeon VB & Richtsmeier JT (2005). Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *Am J Med Genet A* 138: 247–53.
- [4] Altobelli DE, Kikinis R, Mulliken JB, Cline H, Lorensen W & Jolesz F (1993). Computer-assisted three-dimensional planning in craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg* 92: 576–85; discussion 586–7

[5] **Aung SC, Ngim RC & Lee ST** (1995). Evaluation of the laser scanner as a surface measuring tool and its accuracy compared with direct facial anthropometric measurements. *Br J Plast Surg* **48**: 551–8.

[6] **Ayoub A, Garrahy A, Hood C, White J, Bock M, Siebert JP, Spencer R & Ray A** (2003). Validation of a vision-based, three-dimensional facial imaging system. *Cleft Palate Craniofac J* **40**: 523–9.

[7] **Ayoub AF, Siebert P, Moos KF, Wray D, Urquhart C & Niblett TB** (1998). A vision-based three-dimensional capture system for maxillofacial assessment and surgical planning. *Br J Oral Maxillofac Surg* **36**: 353–7.

[8] **Berkowitz S., D.D.S., M.S., Cuzzi J., B.Sc., Ph.E.** (1977) Biostereometric analysis of surgically corrected abnormal faces. *Am J Orthod* **72**: Issue 5, Pages 526–538

[9] **Bhatia G, Vannier MW, Smith KE, Commean PK, Riolo J & Young VL** (1994). Quantification of facial surface change using a structured light scanner. *Plast Reconstr Surg* **94**: 768–74.

[10]. **Brügger LS** (2010). Untersuchung zur Festlegung der Genauigkeit unter Einsatz des 3dMD-Fotosystems. Dissertation, Universität Zürich, Medizinische Fakultät, Zurich, Switzerland: 6–33

- [11]. **Butler MG, Levine GJ, Le JY, Hall BD, Cassidy SB** (1995). Photoanthropometric study of craniofacial traits of individuals with Prader-Willi syndrome. *Am J Med Genet* 58: 38–45
- [12] **Burke, P. H. and Beard, L. F. H.** (1967) Stereophotogrammetry of the face, *Am J Orthod* 53: 769–782
- [13] **Cho JP, Han KH, Kang JS** (1993). Normal anthropometric values and standardized templates of Korean face and head. *J Kor Soc Plast Reconstr Surg* 20: 995–1005
- [14] **Coward TJ, Watson RM & Scott BJ** (1997). Laser scanning for the identification of repeatable landmarks of the ears and face. *Br J Plast Surg* 50: 308–14.
- [15] **Cutting CB, McCarthy JG & Karron DB** (1988). Three-dimensional input of body surface data using a laser light scanner. *Ann Plast Surg* 21: 38–45
- [16] **Deacon AT, Anthony AG, Bhatia SN & Muller JP** (1991). Evaluation of a CCD-based facial measurement system. *Med Inform (Lond)* 16: 213–28.
- [17]. **DiBernardo BE, Adams RL, Krause J, Fiorillo MA, Gheradini G** (1998). Photographic standards in plastic surgery. *Plast Reconstr Surg* 102: 559–568.

[18]. **DiSaia JP, Ptak JJ, Achauer BM** (1998): Digital photography for the plastic surgeon. *Plast Reconstr Surg* 102: 569–573.

[19] **Duffy S, Noar JH, Evans RD & Sanders R** (2000). Three-dimensional analysis of the child cleft face. *Cleft Palate Craniofac J* 37: 137–44.

[20]. **Ettore G, Weber M, Schaaf H, Lowry JC Mommaerts MY, Howaldt HP** (2006). Standards of digital photography in craniomaxillo-facial surgery – part 1: basic views and guidelines. *J Cranio maxill Surg* 34: 65–73.

[21] **Farkas LG, Bryson W & Klotz J** (1980). Is photogrammetry of the face reliable? *Plast Reconstr Surg* 66: 346–55.

[22] **Farkas L, Munro I, (eds)** (1987): Anthropometric facial proportions in medicine. *Springfield, Il: CC Thomas*, pp 155–319.

[23] **Farkas LG, Sohm P, Kolar JC, Katic MJ, Munro IR** (1985) Inclinations of the facial profile: art versus reality. *Plast Reconstr Surg* 75: 509–519

[24] **Farkas L** (1992): Basic anthropometric measurements and proportions in

various regions of the craniofacial complex. *Brodsky L, Holt L, Hue Ritterschidt D, (eds): Craniofacial anomalies—an interdisciplinary approach. Philadelphia: Mosby Year Book, pp 41–57.*

[25] **Farkas L.G.** (1996). Accuracy of antropometric measurements: past, present and future. *Cleft Palate–Cran J* 33:10–18.

[26] **Farkas, L. G.** (1994) *Anthropometry of the Head and Face*. 2nd Ed. New York: Raven Press, pp 21–25

[27] **Foong KW, Sandham A, Ong SH, Wong CW, Wang Y & Kassim A** (1999). Surface laser scanning of the cleft palate deformity–validation of the method. *Ann Acad Med Singapore* 28: 642–9.

[28] **Grayson B, Cutting C, Bookstein FL, Kim H & McCarthy JG** (1988). The three–dimensional cephalogram: theory, technique, and clinical application. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94: 327–37.

[29] **Guyuron B** (1988). Precision rhinoplasty. Part 1: the role of life–size photographs and soft tissue cephalometric analysis. *Plast Reconstr Surg* 81: 489–499

[30] **Han K, Kwon HJ, Choi TH, Kim JH, Son D** (2010). Comparison of anthropometry based on a standardized clinical photographic technique using a cephalostat and chair. *J Craniomaxillofac Surg.* 38(2): 96–107

[31] Hajeer MY, Ayoub AF, Millett DT, Bock M & Siebert JP (2002). Three-dimensional imaging in orthognathic surgery: the clinical application of a new method. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 17: 318–30.

[32] Holler W., Windischbauer G., Cabaj A., Keck G. (1978)
Moiré-Topographie zur Darstellung von Zahnoberflächen.
Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering. Band 23, Heft 1: 430–431.
Published Online: 17.07.2009
<http://www.reference-global.com/doi/abs/10.1515/bmte.1978.23.s1.430>

[33] Kau CH, Zhurov A, Scheer R, Bouwman S & Richmond S (2004). The feasibility of measuring three-dimensional facial morphology in children. *Orthod Craniofac Res* 7: 198–204.

[34] Kawai T, Natsume N, Shibata H & Yamamoto T (1990). Three-dimensional analysis of facial morphology using moire stripes. Part I. Method. *Int J Oral Maxillofac Surg* 19: 356–8.

[35] Kawai T, Natsume N, Shibata H & Yamamoto T (1990). Three-dimensional analysis of facial morphology using moire stripes. Part II. Analysis of normal adults. *Int J Oral Maxillofac Surg* 19: 359–62.

- [36] **Kawano Y** (1987). Three dimensional analysis of the face in respect of zygomatic fractures and evaluation of the surgery with the aid of Moire topography. *J Craniomaxillofac Surg* **15**: 68–74.
- [37] **Krimmel M, Kluba S, Bacher M, Dietz K & Reinert S** (2006). Digital surface photogrammetry for anthropometric analysis of the cleft infant face. *Cleft Palate Craniofac J* **43**: 350–5.
- [38] **Kobayashi T, Ueda K, Honma K, Sasakura H, Hanada K, Nakajima T.**(1990). Three–dimensional analysis of facial morphology before and after orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* **18**: 68–73.
- [39] **Kusnoto B & Evans CA** (2002). Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* **122**: 342–8.
- [40] **Littlefield TR, Kelly KM, Cherney JC, Beals SP & Pomatto JK** (2004). Development of a new three–dimensional cranial imaging system. *J Craniofac Surg* **15**: 175–81.v
- [41] **Losken A, Seify H, Denson DD, Paredes AA, Jr. & Carlson GW** (2005). Validating three–dimensional imaging of the breast. *Ann Plast Surg* **54**: 471–6; discussion 477–8.
- [42] **Lübbers HT, Medinger L, Kruse AL, Grätz KW, Obwegeser JA,**

Mathews F (2012). The influence of involuntary facial movements on craniofacial anthropometry: a survey using a three-dimensional photographic system. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 50(2): 171–5

[43] **Marmulla R, Hassfeld S Luth T & Muhling J.**, 2003. Laser-scan-based navigation in cranio-maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* **31**: 267–77.

[44] **McCance AM, Moss JP, Wright WR, Linney AD & James DR** (1992). A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* **30**: 221–32.

[45] **Medinger L.** (2008). The 3dMD™ Photogrammetric System in Maxillo-Facial Surgery: Validation of its precision and accuracy in Craniofacial Anthropometric Measurements

[46] **Michels B, Westerhoff S** (2006) Photogrammetrie: digitale Bildverarbeitung. Skript, Universität Aachen, Geodätisches Institut und Rechen und Kommunikationszentrum: 8

[47] **Moss JP, Coombes AM, Linney AD & Campos J** (1991). Methods of three dimensional analysis of patients with asymmetry of the face. *Proc Finn Dent Soc* **87**: 139–49.

- [48] **Moyers RE & Bookstein FL** (1979). The inappropriateness of conventional cephalometrics. *Am J Orthod* **75**: 599–617.
- [49] **Oszy U, Demirel BM, Yildirim FB, Tosun O Sarikcioglu L** (2009). Method selection in craniofacial measurements: Advantages and disadvantages of 3D digitization method. *JCraniomaxillofac Surg.* **37**: 285–290
- [50] **Rasse M, Forkert G, Waldhäusl P** (1991). Stereophotogrammetry of facial soft tissue. *Int J Oral Maxillofac Surg.* **20**, 163–6.
- [51] Schweizerische Gesellschaft der Anthropologie: Index. URL: <http://www.anthropologie.ch/index.de.php> [Stand: 15.4.2012].
- [52] **Schaaf H, Streckbein P, Ettore G, Lowry JC, Mommaerts MY, Howaldt HP** (2006). Standards for digital photography in cranio–maxillo–facial surgery – part 2: additional picture sets and avoiding common mistakes. *J Cranio Maxill Surg* **34**: 444–455.
- [53] **Singh GD, Levy–Bercowski D & Santiago PE** (2005). Three–dimensional nasal changes following nasoalveolar molding in patients with unilateral cleft lip and palate: geometric morphometrics. *Cleft Palate Craniofac J* **42**: 403–9.

- [54] **Subtelny JD** A longitudinal study of soft tissue facial structures and their profile characteristics, Defined in relation to underlying skeletal structures *Am J Orthod.* 1959; 45: 481–507
- [55] **Swennen G.R.J.; Schutyser F.; Hausamen J.E.**(2006): Three–Dimensional Cephalometry. *Springer–Verlag Berlin Heidelberg*: pp 186–226.
- [56] **Tanner, J. M. and J. S. Weiner** (1949): The reliability of the photogrammetric method of anthropometry, with a description of a miniature camera technique. *Am J Phys Anthropol* 7:145–186.
- [57] **Vegter F, Hage JJ** (2000). Clinical Anthropometry and Canons of the Face in Historical Perspective. *History of Facial Anthropometry* 106: Issue 5, 1090
- [58] **Vegter F, Hage J.** (2001) Facial anthropometry in cleft patients: a historical appraisal. *Cleft Palate Craniofac J.* 38: 577–81.
- [59] **Weinberg SM & Kolar JC** (2005). Three–dimensional surface imaging: limitations and considerations from the anthropometric perspective. *J Craniofac Surg* 16: 847–51.
- [60] **Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, Martin RA, Kane AA & Marazita ML** (2006). Anthropometric precision and accuracy of digital three–dimensional photogrammetry: comparing the Genex and 3dMD

imaging systems with one another and with direct anthropometry. *J Craniofac Surg* 17: 477–83.

[61] **Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Brandon CA & Marazita ML** (2004). Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate Craniofac J* 41: 507–18.

[62]. Wikipedia: Stereofotogrammetrie. URL:
<http://de.wikipedia.org/wiki/stereofotogrammetrie> [Stand 15.4.2012]

[63]. **Zarem HA** (1984). Standards of photography. *Plast Reconstr Surg* 74: 137–146

8.2 Bildquellen

[B1] **Michels B, Westerhoff S** (2006) Photogrammetrie: digitale Bildverarbeitung. Skript, Universität Aachen, Geodätisches Institut und Rechen und Kommunikationszentrum: 8

[B2] **Michels B, Westerhoff S** (2006) Photogrammetrie: digitale Bildverarbeitung. Skript, Universität Aachen, Geodätisches Institut und Rechen und Kommunikationszentrum: 8

9 Danksagung

Danke

Dr. Theo Lübbers für die gute und angenehme Betreuung

Raffael Ort für seine Unterstützung bei statistischen Fragestellungen

Meinem Mann Holger Ort und meinen Eltern

10 Anhang

10.1 Definition von fazialen Weichteillandmarken



Abb.5: Exemplarische Darstellung der evaluierten Landmarken auf einem 3D-Foto, Zuordnung vergleiche Tabelle 14

Tabelle 14: Zuordnung der auf Abbildung 5 dargestellten Landmarken

a	Glabella
b	Softnasion
c	Endocanthion links
d	Endocanthion rechts
e	Exocanthion links
f	Exocanthion rechts
g	Softorbitale links
h	Softorbitale rechts
i	Pronasale
j	Subnasale
k	Alare links
l	Alare rechts
m	Alar curvature Punkt links
n	Alar curvature Punkt rechts
o	Labiale inferius
p	Labiale superius
q	Crista philtri links
r	Crista philtri rechts
s	Stomion
t	Cheilion links
u	Cheilion rechts
v	Softgonion links
w	Softgonion rechts
x	Softpogonion
y	Softgnathion
z	Softporion links
0	Softporion rechts

10.2 Tabellarischer Anhang der erhobenen Messdaten

Die Tabellen 15 – 20 zeigen die Koordinaten der Landmarken an den einzelnen Tagen.

Ergebnisse A.A.

Tag 1			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-56.76	20.35	84.93
b	-54.24	14.02	63.33
c	-43.44	17.96	61.32
d	-65.95	19.48	59.08
e	-20.41	22.57	60.90
f	-87.85	24.13	55.61
g	-31.49	11.03	53.30
h	-75.55	12.29	50.47
i	-53.35	-3.92	50.58
j	-52.69	-4.90	46.05
k	-37.32	0.21	46.23
l	-71.20	2.90	41.74
m	-40.38	1.36	40.47
n	-66.89	2.23	38.74
o	-50.94	-9.70	20.73
p	-51.26	-5.93	33.49
q	-43.23	-3.15	36.34
r	-58.55	-1.28	33.70
s	-51.03	-4.10	26.31
t	-34.84	-4.54	25.76
u	-66.17	-4.59	25.49
v	-7.38	30.02	-0.96
w	-93.63	34.27	-2.84
x	-50.19	-10.13	8.30
y	-49.52	-7.70	-2.56
z	1.66	58.22	26.14
0	-102.86	59.39	20.46

Tag 2			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-56.98	20.75	85.53
b	-54.30	13.99	63.30
c	-44.29	17.26	61.54
d	-65.30	17.75	60.48
e	-19.83	22.93	61.84
f	-88.42	24.42	55.01
g	-31.28	10.99	53.25
h	-76.50	12.30	49.97
i	-54.25	-3.69	51.20
j	-53.39	-4.82	46.14
k	-35.91	1.93	45.31
l	-70.83	2.48	42.79
m	-40.77	1.39	41.07
n	-67.43	2.14	38.82
o	-50.96	-9.70	20.26
p	-52.71	-8.85	38.67
q	-42.47	-2.85	36.89
r	-61.89	-3.74	37.34
s	-51.13	-3.82	26.35
t	-33.48	-3.42	24.92
u	-68.56	-3.27	23.94
v	-7.11	29.66	0.61
w	-92.44	33.99	-4.49
x	-50.67	-10.62	5.93
y	-49.74	-7.39	-3.07
z	1.97	58.42	26.93
0	-102.97	59.75	21.45

Tag 3			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-57.02	19.28	82.68
b	-55.39	13.81	62.65
c	-43.03	18.31	61.22
d	-65.59	19.29	59.46
e	-19.31	23.05	61.45
f	-88.86	24.57	54.65
g	-31.52	11.04	53.31
h	-77.22	12.93	50.16
i	-54.02	-3.81	50.99
j	-53.85	-5.41	45.60
k	-36.16	1.65	45.45
l	-71.15	2.98	42.13
m	-39.86	0.92	40.92
n	-67.54	2.13	38.86
o	-51.20	-9.59	20.61
p	-52.70	-9.42	39.57
q	-42.61	-3.44	36.41
r	-62.87	-3.68	37.22
s	-51.66	-3.09	26.31
t	-33.55	-3.51	25.22
u	-68.64	-3.34	24.44
v	-6.88	29.54	1.83
w	-92.22	32.19	-4.26
x	-52.51	-9.80	8.82
y	-52.61	-7.21	-2.56
z	2.22	57.43	28.19
0	-103.14	59.26	22.09

Tag 4			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-56.78	20.27	84.64
b	-54.81	14.20	63.38
c	-43.13	18.23	61.12
d	-65.20	17.64	60.20
e	-19.33	23.05	61.30
f	-88.51	24.47	55.06
g	-30.31	10.86	52.83
h	-76.80	12.43	49.92
i	-54.73	-3.77	51.13
j	-54.17	-5.18	45.76
k	-36.01	1.80	45.35
l	-71.63	3.11	41.67
m	-40.28	0.92	40.60
n	-68.25	1.71	38.64
o	-51.30	-9.60	20.55
p	-52.13	-6.85	36.14
q	-43.12	-2.88	36.58
r	-61.88	-3.85	37.11
s	-51.94	-3.50	26.26
t	-33.50	-3.62	25.66
u	-70.22	-2.31	23.08
v	-7.76	29.25	-1.80
w	-92.33	33.84	-4.58
x	-49.43	-10.50	7.36
y	-49.78	-7.73	-2.52
z	2.12	58.11	27.42
0	-103.31	57.94	23.23

Tag 5			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-57.64	21.07	85.98
b	-55.56	14.66	63.86
c	-43.33	17.96	61.16
d	-65.53	18.94	59.75
e	-19.88	22.74	61.39
f	-88.51	24.48	54.91
g	-29.94	11.44	53.13
h	-76.06	12.66	50.51
i	-54.60	-3.56	51.38
j	-54.03	-4.93	45.95
k	-36.00	1.87	45.47
l	-71.37	3.43	42.31
m	-40.14	0.42	40.11
n	-68.20	2.11	39.25
o	-51.21	-9.65	21.38
p	-53.51	-8.07	38.00
q	-42.52	-2.53	37.16
r	-62.25	-3.76	37.20
s	-52.03	-3.85	26.25
t	-33.09	-3.61	25.47
u	-69.90	-3.29	24.47
v	-7.04	29.95	0.67
w	-93.52	34.40	-3.03
x	-50.59	-10.18	8.02
y	-49.82	-7.47	-2.94
z	2.74	57.76	29.15
0	-103.07	57.15	21.79

Tag 12			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-56.67	20.24	84.64
b	-55.09	14.43	63.50
c	-43.54	17.36	60.90
d	-65.32	17.74	60.31
e	-18.55	23.25	60.86
f	-88.42	24.47	54.45
g	-29.92	11.53	53.20
h	-76.26	12.41	50.19
i	-53.79	-3.85	50.86
j	-53.24	-5.22	45.90
k	-35.66	1.85	44.65
l	-71.14	2.45	41.33
m	-39.89	0.79	40.74
n	-67.37	2.40	39.30
o	-51.70	-9.43	20.85
p	-52.07	-8.49	38.05
q	-42.87	-2.67	36.88
r	-61.64	-4.06	36.43
s	-51.83	-3.12	26.28
t	-32.51	-3.84	25.73
u	-70.62	-3.14	24.22
v	-7.08	29.83	0.54
w	-92.35	31.73	-3.93
x	-50.81	-10.45	6.94
y	-50.64	-7.53	-2.89
z	2.23	58.40	27.55
0	-103.06	57.95	22.11

Tabelle 21 zeigt den Abstand der Mittelwerte der einzelnen Landmarken zwischen den Untersuchern

A.A.	Untersucher 1	Untersucher 2	Abstand
a	0.9417	1.0339	4.1413
b	0.6087	0.5290	0.5354
c	0.5226	0.2859	0.6345
d	0.9231	0.6412	0.6194
e	0.6199	0.4366	1.6719
f	0.3811	0.1744	0.5692
g	0.7524	0.6588	1.5780
h	0.5524	1.1016	0.5861
i	0.4798	0.3266	0.6121
j	0.5507	0.1990	0.5878
k	0.6942	0.9156	1.9682
l	0.5698	0.4808	1.1390
m	0.4956	0.7239	1.3915
n	0.5132	0.3983	1.9513
o	0.3894	1.4331	1.8691
p	2.1256	0.7028	1.8257
q	0.4899	0.4540	0.8733
r	1.6239	0.8121	1.8589
s	0.5281	0.6796	1.3302
t	0.7113	0.3265	0.3681
u	1.4700	0.5965	1.1711
v	0.6278	1.5567	2.8566
w	1.3456	2.0973	1.6345
x	1.2122	0.7258	0.7062
y	0.9000	0.8920	1.2661
z	0.8972	0.6201	4.7315
O	1.2065	0.5451	3.2498

Ergebnisse B.J.

Die Tabellen 22 – 27 zeigen die Koordinaten der Landmarken an den einzelnen Tagen

Tag 1			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-54.78	25.80	26.23
b	-55.13	17.61	12.18
c	-41.71	19.49	4.22
d	-65.19	24.50	1.68
e	-16.85	20.68	4.35
f	-86.81	30.68	-2.82
g	-30.19	10.19	-3.38
h	-75.97	17.86	-7.48
i	-58.22	-3.93	2.04
j	-57.82	-6.65	-5.45
k	-40.75	1.18	-1.39
l	-70.99	4.78	-7.42
m	-48.91	-2.51	-6.31
n	-65.50	1.09	-10.45
o	-54.15	-13.94	-29.50
p	-57.12	-12.33	-14.28
q	-49.45	-11.04	-12.12
r	-63.57	-9.26	-13.59
s	-56.04	-12.92	-21.27
t	-37.84	-9.71	-21.89
u	-69.57	-6.97	-27.09
v			
w			
x	-53.76	-14.97	-37.44
y	-52.83	-13.84	-48.73

Tag 2			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-55.38	27.89	28.85
b	-55.81	17.32	11.84
c	-41.30	19.72	4.27
d	-65.60	24.86	1.14
e	-16.50	20.37	3.78
f	-86.57	30.52	-3.02
g	-30.42	10.88	-2.88
h	-75.05	17.25	-7.36
i	-58.57	-3.19	2.99
j	-57.81	-6.67	-5.76
k	-41.32	0.95	-0.80
l	-71.00	4.54	-7.85
m	-47.99	-2.36	-6.50
n	-64.65	-0.70	-10.64
o	-54.60	-13.83	-29.42
p	-56.58	-12.46	-14.41
q	-49.98	-11.43	-12.76
r	-63.69	-9.99	-14.73
s	-55.66	-13.00	-21.90
t	-38.23	-9.81	-21.74
u	-68.89	-7.23	-27.20
v			
w			
x	-54.69	-14.41	-36.74
y	-53.60	-14.94	-45.48

Tag 3			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-53.92	25.18	25.59
b	-55.67	16.70	11.22
c	-41.65	19.46	4.19
d	-65.59	24.69	1.04
e	-16.65	20.45	3.96
f	-86.97	30.81	-3.53
g	-29.96	10.35	-3.30
h	-77.01	17.49	-8.30
i	-59.01	-3.09	2.99
j	-58.14	-6.57	-5.25
k	-40.96	1.11	-0.74
l	-71.17	5.74	-9.26
m	-48.16	-3.22	-6.64
n	-65.96	-0.38	-11.36
o	-55.30	-15.57	-26.23
p	-56.83	-12.56	-14.69
q	-49.65	-11.30	-12.57
r	-63.81	-10.10	-15.09
s	-55.84	-12.96	-21.64
t	-37.62	-9.61	-21.27
u	-69.26	-6.91	-27.86
v			
w			
x	-54.70	-13.83	-35.49
y	-53.30	-14.52	-46.48

Tag 4			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-56.12	25.83	25.87
b	-55.65	16.85	11.33
c	-41.30	19.96	4.41
d	-65.60	24.95	1.22
e	-15.97	21.08	4.17
f	-86.89	30.66	-3.57
g	-27.84	10.62	-3.29
h	-76.51	17.99	-7.69
i	-58.30	-4.31	1.58
j	-57.72	-6.64	-4.83
k	-40.72	1.20	-1.17
l	-70.96	4.02	-8.32
m	-48.13	-2.77	-6.55
n	-64.40	-0.54	-10.42
o	-54.49	-13.66	-29.63
p	-56.85	-12.31	-14.20
q	-49.28	-11.37	-12.78
r	-63.78	-9.84	-14.61
s	-55.68	-13.06	-22.00
t	-37.98	-9.70	-21.75
u	-69.48	-6.89	-27.63
v			
w			
x	-53.14	-14.65	-35.87
y	-52.52	-15.40	-42.42

Tag 5			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-57.12	28.12	28.44
b	-56.49	17.09	11.36
c	-41.85	19.49	4.26
d	-65.30	24.42	1.40
e	-16.63	20.55	4.06
f	-86.44	30.42	-2.91
g	-28.83	9.95	-3.75
h	-77.14	17.65	-8.27
i	-58.81	-4.20	1.87
j	-57.59	-6.69	-5.14
k	-41.27	0.97	-0.81
l	-71.02	4.60	-7.87
m	-45.96	-2.53	-7.02
n	-66.26	0.62	-11.01
o	-54.88	-13.69	-29.49
p	-57.51	-12.24	-14.17
q	-49.31	-11.12	-12.29
r	-62.74	-10.32	-14.29
s	-56.31	-12.96	-21.75
t	-38.42	-9.84	-21.41
u	-69.92	-6.84	-27.27
v			
w			
x	-54.52	-14.21	-36.08
y	-53.20	-14.56	-46.44

Tag 12			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-55.84	25.77	25.83
b	-55.73	16.73	11.24
c	-41.17	19.74	4.25
d	-65.36	24.40	1.26
e	-16.17	20.75	3.90
f	-86.34	30.36	-3.18
g	-30.08	11.42	-2.50
h	-77.47	19.43	-7.15
i	-58.99	-4.94	1.08
j	-58.27	-6.55	-5.36
k	-40.99	1.09	-1.04
l	-71.17	5.39	-9.47
m	-45.89	-2.46	-7.02
n	-65.53	-0.22	-11.06
o	-54.17	-13.84	-29.68
p	-57.57	-12.18	-14.08
q	-50.57	-11.48	-12.78
r	-63.12	-10.20	-14.40
s	-55.38	-13.04	-21.69
t	-36.53	-9.30	-22.22
u	-69.90	-6.84	-27.31
v			
w			
x	-53.98	-14.77	-37.07
y	-52.32	-14.63	-46.85

Tabelle 28 zeigt den Abstand der Mittelwerte der einzelnen Landmarken zwischen den Untersuchern

B.J.	Untersucher 1	Untersucher 2	Abstand
a	1.8895	0.9499	4.2577
b	0.5733	0.9499	2.0229
c	0.3091	0.6874	1.5070
d	0.3305	0.6229	0.7231
e	0.3941	0.3289	1.7246
f	0.3906	0.4406	0.4752
g	1.0415	1.3409	1.0911
h	0.9908	1.2217	1.4800
i	0.9090	0.5696	0.8901
j	0.3560	0.4647	0.5856
k	0.3132	1.6724	1.4659
l	0.9073	1.5429	0.9762
m	1.1358	0.3826	0.6219
n	0.7730	1.0481	0.8916
o	1.1212	1.0714	0.8811
p	0.3939	0.3990	0.4270
q	0.4835	0.2775	1.5054
r	0.6405	0.6136	1.1379
s	0.3481	0.5160	0.6358
t	0.5824	1.1957	1.6767
u	0.4421	0.6223	0.3872
v	0.0000	0.0000	0.0000
w	0.0000	0.0000	0.0000
x	0.9255	0.9281	1.1823
y	1.5774	1.2384	1.0473
z	0.0000	0.0000	0.0000
O	0.0000	0.0000	0.0000

Ergebnisse F.N.

Die Tabellen 29 – 34 zeigen die Koordinaten der Landmarken an den einzelnen Tagen

Tag 1			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-71.80	10.70	66.17
b	-71.19	-1.97	78.57
c	-56.99	-12.32	73.34
d	-87.20	-10.95	75.26
e	-37.65	-15.98	67.22
f	-108.51	-13.69	74.76
g	-45.77	-18.06	78.80
h	-97.26	-14.59	85.10
i	-73.91	-7.38	98.51
j	-78.56	-16.71	102.29
k	-54.25	-22.38	93.34
l	-89.34	-15.12	98.26
m	-61.45	-25.62	94.13
n	-84.02	-17.54	99.57
o	-68.10	-51.17	112.34
p	-72.64	-25.31	101.13
q	-60.79	-28.35	95.13
r	-76.31	-23.48	104.34
s			
t	-47.97	-41.90	99.50
u	-91.86	-39.34	107.12
v	-30.21	-79.17	72.72
w	-123.03	-71.51	77.12
x	-67.87	-68.07	118.71
y	-68.01	-78.50	118.86
z	-22.45	-66.10	41.66

Tag 2			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-71.94	10.77	66.12
b	-70.72	-2.23	78.95
c	-57.41	-11.87	73.31
d	-86.59	-10.17	75.94
e	-35.58	-17.07	65.93
f	-108.88	-13.49	74.11
g	-46.21	-18.20	79.07
h	-97.22	-14.49	84.81
i	-73.76	-7.61	98.70
j	-79.14	-17.66	102.38
k	-53.91	-22.63	92.92
l	-90.46	-16.42	95.44
m	-58.07	-25.46	94.67
n	-86.10	-18.39	99.24
o	-68.56	-51.10	112.43
p	-72.42	-25.17	100.69
q	-57.16	-28.96	96.43
r	-75.89	-22.57	103.32
s			
t	-48.12	-43.13	99.14
u	-92.14	-42.61	105.58
v	-31.40	-80.79	72.64
w	-119.84	-74.00	83.38
x	-68.07	-69.07	119.19
y	-68.05	-79.73	118.04
z	-22.56	-65.87	40.46

Tag 3			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-71.34	11.63	65.19
b	-70.99	-1.68	78.09
c	-58.16	-11.08	73.63
d	-87.07	-10.82	75.87
e	-35.80	-17.00	65.87
f	-109.90	-13.54	74.68
g	-46.90	-17.89	79.04
h	-97.25	-14.54	84.94
i	-74.17	-8.60	100.19
j	-79.98	-17.90	102.14
k	-54.26	-21.90	92.72
l	-90.40	-16.58	96.07
m	-57.50	-25.79	94.75
n	-86.11	-18.35	99.14
o	-67.73	-50.89	112.14
p	-72.71	-23.35	101.03
q	-57.30	-30.14	96.96
r	-76.64	-22.47	103.88
S			
t	-48.25	-43.11	99.18
u	-89.43	-34.64	110.11
v	-30.37	-78.70	75.80
w	-120.08	-73.59	83.33
x	-68.40	-68.13	118.77
y	-68.67	-78.77	118.88
z	-21.22	-63.61	39.24

Tag 4			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-74.86	10.67	66.33
b	-71.45	-1.43	77.98
c	-57.77	-11.79	73.75
d	-86.83	-10.48	75.83
e	-36.08	-16.90	66.20
f	-108.96	-13.61	74.14
g	-44.77	-18.96	79.23
h	-97.27	-14.82	85.88
i	-74.61	-8.23	100.21
j	-78.94	-17.76	102.39
k	-53.69	-22.95	92.79
l	-89.82	-15.51	97.23
m	-56.86	-25.58	94.73
n	-85.35	-18.10	99.30
o	-67.84	-51.30	112.36
p	-72.30	-24.54	100.68
q	-56.74	-29.37	97.13
r	-77.27	-22.72	104.63
s			
t	-48.09	-43.69	99.00
u	-92.77	-42.42	105.66
v	-30.10	-79.06	72.61
w	-119.92	-73.87	83.37
x	-68.18	-68.03	118.70
y	-68.64	-79.54	118.37
z	-21.78	-64.39	40.02

Tag 5			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-72.12	11.19	65.75
b	-72.12	-1.54	78.28
c	-57.28	-12.23	73.44
d	-86.91	-10.72	76.24
e	-35.46	-17.02	65.93
f	-108.94	-13.65	74.31
g	-44.30	-19.51	79.71
h	-98.81	-14.90	85.03
i	-74.09	-7.93	99.38
j	-79.12	-17.17	102.25
k	-53.61	-23.06	92.73
l	-90.48	-17.12	96.61
m	-57.36	-25.54	94.70
n	-85.39	-17.74	99.27
o	-68.48	-51.29	112.50
p	-72.45	-25.58	100.63
q	-57.52	-29.96	96.67
r	-76.98	-22.67	104.35
s			
t	-48.14	-42.99	99.18
u	-91.83	-41.10	106.35
v	-30.91	-82.28	69.68
w	-119.24	-74.65	83.80
x	-68.97	-69.16	119.29
y	-69.56	-79.46	118.68
z	-22.17	-65.43	38.36

Tag 12			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-71.81	11.53	65.39
b	-71.09	-1.12	77.44
c	-57.73	-11.54	73.47
d	-86.63	-10.56	76.05
e	-35.32	-17.39	66.44
f	-109.15	-13.60	74.44
g	-43.95	-18.59	78.67
h	-98.92	-14.88	85.13
i	-74.49	-7.82	99.64
j	-78.38	-17.41	102.38
k	-53.72	-22.75	92.69
l	-89.14	-14.88	98.43
m	-56.65	-25.70	94.78
n	-85.61	-18.13	99.24
o	-67.96	-51.38	112.43
p	-72.28	-23.33	99.70
q	-56.93	-29.62	96.97
r	-76.80	-22.55	104.10
s			
t	-46.98	-41.31	99.43
u	-91.97	-40.14	106.74
v	-30.80	-80.00	71.92
w	-121.19	-72.71	81.74
x	-67.07	-68.89	119.01
y	-66.68	-79.87	117.95
z	-21.61	-64.18	39.31

Tabelle 35 zeigt den Abstand der Mittelwerte der einzelnen Landmarken zwischen den Untersuchern

N.F.	Rebecca Mittel NF	Lea Mittel NF	Abstand
a	1.0402	1.8233	2.6560
b	0.6770	0.9075	0.1596
c	0.5231	0.2785	0.8093
d	0.4050	0.5465	0.9176
e	0.7874	0.5149	1.4219
f	0.4085	0.3147	0.4579
g	1.1764	1.6653	0.9010
h	0.8224	0.9448	0.3917
i	0.7418	0.8317	1.8511
j	0.5804	0.2843	0.8421
k	0.4583	0.6409	1.5265
l	1.3932	1.2587	1.3478
m	1.2192	0.2608	1.1152
n	0.6088	0.2114	0.2933
o	0.3303	0.7251	0.3975
p	0.9308	0.6899	3.9263
q	1.3210	0.6687	0.5709
r	0.6304	0.3515	1.5436
s	0.0000	0.0000	0.0000
t	0.8267	0.9743	2.2704
u	2.4743	0.3973	2.2653
v	1.8297	2.1681	1.7359
w	2.2882	2.8355	4.9391
x	0.7489	1.2117	1.3099
y	0.9818	1.3292	0.4390
z	1.3800	0.5830	3.7144
O	0.0000	0.0000	0.0000

Ergebnisse J.L.

Die Tabellen 36 – 41 zeigen die Koordinaten der Landmarken an den einzelnen Tagen

Tag 1			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-34.09	97.40	78.26
b	-31.13	85.32	63.80
c	-20.94	92.44	56.66
d	-44.21	85.50	57.79
e	-0.39	103.50	51.12
f	-67.38	82.99	55.26
g	-5.91	85.75	49.41
h	-53.21	72.40	52.58
i	-25.28	64.60	62.77
j	-24.74	61.58	52.05
k	-14.13	67.23	52.46
l	-37.20	60.00	52.89
m	-18.56	63.69	49.28
n	-30.78	59.61	49.90
o	-22.77	49.12	33.22
p	-22.00	48.92	45.11
q	-17.94	52.17	45.51
r	-27.85	49.28	45.85
s	-22.94	49.28	38.21
t	-8.22	56.56	32.21
u	-39.09	45.88	34.17
v	9.92	81.17	-11.42
w	-76.14	59.46	-4.73
x	-19.47	41.21	23.45
y	-18.94	40.34	12.18
z	13.42	124.09	-1.38

Tag 2			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-35.64	99.04	81.09
b	-31.67	86.96	64.98
c	-20.82	93.05	56.20
d	-45.02	86.12	57.07
e	-0.91	103.55	51.60
f	-67.18	83.15	55.84
g	-8.14	85.90	50.18
h	-51.83	73.48	52.98
i	-25.45	64.41	62.81
j	-25.20	61.57	52.38
k	-14.03	68.16	52.90
l	-38.36	61.86	52.89
m	-19.44	63.95	49.79
n	-30.41	59.72	50.13
o	-22.87	49.47	35.59
p	-22.27	48.70	45.09
q	-17.97	52.29	45.55
r	-27.39	48.69	45.26
s	-22.94	49.25	38.27
t	-8.80	56.57	31.88
u	-40.20	45.61	34.39
v	10.33	78.62	-9.22
w	-72.38	54.66	-3.75
x	-20.40	40.92	23.51
y	-20.66	39.88	11.53
z	13.39	125.43	-0.26

Tag 3			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-33.92	100.48	82.31
b	-32.14	86.96	65.09
c	-20.69	91.84	56.62
d	-44.64	85.62	57.27
e	-0.82	103.44	51.36
f	-67.61	82.99	55.06
g	-6.72	87.40	50.07
h	-52.94	74.01	53.25
i	-25.79	64.22	62.66
j	-25.13	61.51	53.36
k	-14.08	68.01	53.50
l	-37.75	61.18	53.77
m	-18.81	64.31	49.70
n	-31.30	60.07	49.91
o	-22.47	49.41	34.57
p	-22.19	48.88	45.32
q	-18.17	52.27	45.62
r	-27.51	49.01	45.49
s	-22.15	48.30	40.70
t	-8.24	55.88	34.31
u	-40.27	45.85	33.50
v	10.47	81.76	-10.85
w	-73.71	59.18	-8.92
x	-19.82	42.02	24.30
y	-19.21	40.67	11.73
z	13.39	125.44	-0.46

Tag 4			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-34.04	99.87	81.57
b	-32.07	87.16	65.23
c	-20.59	92.03	56.36
d	-44.84	86.07	57.15
e	-1.60	102.92	51.32
f	-66.96	82.80	55.45
g	-5.96	86.56	49.61
h	-53.20	73.57	53.03
i	-25.08	65.44	62.95
j	-25.22	61.16	51.40
k	-14.04	67.97	52.73
l	-37.65	61.12	53.80
m	-18.79	64.06	49.57
n	-30.53	59.45	49.90
o	-23.38	49.34	35.63
p	-22.36	49.09	45.45
q	-18.14	51.94	45.47
r	-27.70	48.76	45.39
s	-23.13	48.96	38.79
t	-9.13	56.46	32.10
u	-39.68	45.70	34.66
v	13.53	83.89	-5.94
w	-79.39	60.96	-0.41
x	-21.79	42.96	25.70
y	-21.40	39.29	12.93
z	13.57	125.64	1.13

Tag 5			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-34.90	98.09	79.71
b	-32.26	86.54	64.76
c	-20.13	92.16	55.86
d	-44.71	85.85	57.25
e	-0.34	103.46	51.05
f	-66.97	82.82	55.46
g	-5.93	86.29	49.53
h	-54.15	72.25	52.60
i	-25.51	64.29	62.72
j	-24.90	61.66	52.75
k	-13.82	68.90	51.55
l	-38.18	61.18	52.22
m	-18.96	64.38	49.76
n	-31.04	59.54	49.76
o	-23.11	49.68	36.33
p	-22.40	49.29	45.53
q	-17.63	52.27	45.37
r	-27.93	49.03	45.60
s	-22.53	48.38	40.85
t	-9.12	56.65	32.00
u	-39.62	45.87	34.18
v	14.08	84.15	-4.64
w	-77.66	60.14	-2.74
x	-20.60	41.01	23.68
y	-20.22	39.31	13.95
z	13.53	125.73	0.69

Tag 12			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-34.15	99.51	81.11
b	-31.79	86.31	64.52
c	-20.43	93.37	55.56
d	-44.35	85.63	57.75
e	-0.05	103.69	51.08
f	-67.20	82.92	55.35
g	-4.81	86.77	49.21
h	-54.41	72.78	52.84
i	-25.41	63.94	62.37
j	-24.66	61.80	52.31
k	-13.80	69.47	51.05
l	-37.54	60.53	53.51
m	-18.83	64.39	49.72
n	-30.81	59.82	50.01
o	-22.87	49.63	36.05
p	-21.97	49.03	45.30
q	-18.18	52.57	45.76
r	-26.68	49.06	45.71
s	-22.18	48.17	42.28
t	-8.24	55.73	35.43
u	-40.34	45.36	35.02
v	11.03	82.67	-10.32
w	-75.28	59.04	-5.79
x	-21.55	42.06	24.73
y	-20.79	39.54	12.39
z	13.47	125.83	0.36

Tabelle 42 zeigt den Abstand der Mittelwerte der einzelnen Landmarken zwischen den Untersuchern

L.J.	Untersucher1	Untersucher 2	Abstand
a	1.6413	1.6963	2.7063
b	0.7331	0.4948	1.9975
c	0.7000	0.2279	0.7218
d	0.4217	0.3144	0.7365
e	0.5157	0.3059	1.6834
f	0.3119	0.2474	1.3123
g	1.0370	0.8414	1.3821
h	1.0388	1.0218	0.8769
i	0.4453	0.5488	0.2524
j	0.5853	0.4561	0.1530
k	1.0160	1.4443	0.5138
l	0.8679	1.7910	2.1092
m	0.3622	0.3862	0.4306
n	0.3353	0.2949	0.2229
o	0.9676	0.4268	1.5987
p	0.2766	0.2678	0.2192
q	0.2548	0.1231	0.5167
r	0.4407	0.2777	0.6949
s	1.5512	0.4807	0.5471
t	1.3725	0.5031	0.8405
u	0.6194	0.5495	1.4175
v	3.3760	2.5723	6.5612
w	3.5418	2.4821	6.6469
x	1.2785	0.9265	2.6508
y	1.2582	2.4806	2.1646
z	0.6088	1.1331	1.6346
O	0.0000	0.0000	0.0000

Ergebnisse K.F.

Die Tabellen 43 – 48 zeigen die Koordinaten der Landmarken an den einzelnen Tagen

Tag 1			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-15.08	50.17	110.75
b	-16.52	34.76	90.92
c	-4.67	37.44	77.18
d	-32.67	37.22	83.77
e	19.73	41.66	66.77
f	-57.75	38.68	83.35
g	6.10	25.95	68.28
h	-44.25	22.19	79.77
i	-15.11	8.83	86.22
j	-16.39	6.22	75.65
k	-5.05	12.30	73.89
l	-28.99	9.42	78.37
m	-11.51	9.75	72.76
n	-23.73	8.28	73.91
o	-18.09	-11.71	51.63
p	-15.58	-4.58	67.50
q	-11.52	-2.59	66.50
r	-20.07	-3.98	69.07
s	-18.47	-5.20	53.55
t	-5.95	-3.02	47.94
u	-33.33	-6.80	55.33
v	10.95	23.24	-2.71
w	-74.92	19.08	13.30
x	-21.34	-21.06	37.27
y	-23.30	-23.33	25.67
z	25.63	67.91	1.87
0	-91.03	59.00	35.07

Tag 2			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-14.07	51.23	111.69
b	-16.77	34.82	91.07
c	-4.54	37.60	77.12
d	-32.67	36.98	83.68
e	18.83	41.47	66.74
f	-57.95	38.58	83.15
g	5.70	26.20	68.60
h	-43.12	24.04	80.43
i	-15.08	9.73	86.87
j	-15.85	6.22	76.10
k	-4.93	13.02	73.98
l	-28.90	9.63	78.73
m	-11.17	9.82	72.54
n	-24.35	8.49	72.67
o	-18.15	-11.76	51.58
p	-15.32	-5.25	67.02
q	-11.09	-3.12	65.58
r	-20.06	-4.14	69.00
s	-18.65	-5.52	53.76
t	-5.75	-3.08	48.11
u	-33.19	-6.84	54.98
v	10.85	24.08	-3.44
w	-74.36	17.88	14.14
x	-20.96	-21.27	36.88
y	-22.35	-23.14	25.88
z	25.87	67.77	3.12
0	-90.96	58.79	35.09

Tag 3			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-14.15	51.76	112.25
b	-17.02	34.93	91.26
c	-4.40	38.17	75.79
d	-32.65	36.91	83.68
e	18.88	41.16	66.06
f	-58.21	38.68	83.09
g	5.03	26.51	69.08
h	-44.21	22.41	79.85
i	-14.93	9.55	86.70
j	-16.57	6.32	75.24
k	-4.88	12.82	72.48
l	-29.69	9.66	77.54
m	-11.04	9.70	71.37
n	-23.53	7.50	73.22
o	-18.65	-11.63	50.67
p	-15.64	-5.40	66.80
q	-11.99	-3.29	66.30
r	-20.24	-4.34	68.70
s	-19.00	-4.97	53.51
t	-6.47	-3.43	48.38
u	-33.20	-6.97	54.83
v	11.24	20.81	-0.59
w	-73.60	15.38	17.94
x	-21.12	-22.07	35.93
y	-23.61	-22.29	23.92
z	26.06	67.88	4.38
0	-91.25	59.56	36.67

Tag 4			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-15.40	50.71	111.38
b	-17.47	33.92	90.62
c	-4.44	37.11	76.94
d	-32.15	36.08	83.73
e	18.76	41.18	66.27
f	-58.84	38.86	82.88
g	7.15	26.52	68.05
h	-44.72	23.61	80.22
i	-15.23	8.75	85.91
j	-16.76	6.26	74.89
k	-5.11	12.28	74.10
l	-29.17	10.09	78.64
m	-10.72	9.79	71.28
n	-24.35	8.62	72.82
o	-18.88	-11.84	51.17
p	-15.33	-5.22	67.07
q	-10.94	-2.77	65.75
r	-19.74	-4.00	68.96
s	-18.65	-4.69	53.27
t	-5.83	-3.78	48.38
u	-33.10	-6.75	55.53
v	10.77	23.96	-3.50
w	-73.39	17.01	12.80
x	-21.42	-21.17	37.22
y	-23.17	-22.53	24.33
z	25.73	67.84	2.41
0	-91.08	59.40	37.41

Tag 5			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-13.48	52.34	112.62
b	-16.65	33.82	90.25
c	-4.49	37.41	77.02
d	-32.74	36.88	83.58
e	19.38	41.24	65.85
f	-58.38	38.56	82.92
g	9.24	24.99	66.43
h	-45.00	22.57	79.83
i	-15.30	9.00	86.31
j	-16.76	6.20	75.57
k	-4.85	13.04	72.64
l	-29.63	9.71	77.71
m	-10.18	9.89	70.83
n	-24.17	7.91	72.70
o	-19.01	-11.62	51.75
p	-15.79	-5.07	67.19
q	-11.49	-2.68	66.41
r	-20.21	-3.61	69.35
s	-19.24	-4.88	53.70
t	-5.57	-3.30	48.05
u	-33.33	-6.93	55.85
v	11.46	26.79	-4.45
w	-74.28	18.59	11.70
x	-22.16	-20.76	37.94
y	-24.18	-22.82	24.89
z	26.02	68.11	3.14
0	-90.81	59.00	37.95

Tag 12			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-13.66	50.60	111.00
b	-16.88	34.22	90.62
c	-4.97	36.76	77.56
d	-32.43	36.74	83.80
e	19.42	41.43	66.47
f	-57.93	38.69	83.24
g	7.63	25.88	67.55
h	-44.30	22.90	80.01
i	-15.05	8.52	85.60
j	-16.42	6.23	75.46
k	-4.80	13.05	73.05
l	-29.23	10.28	78.65
m	-11.02	9.46	70.53
n	-24.06	7.79	72.72
o	-19.85	-11.43	49.62
p	-15.22	-4.96	67.23
q	-11.11	-3.06	65.71
r	-20.03	-4.08	69.04
s	-18.59	-4.70	54.06
t	-5.31	-3.23	47.80
u	-34.01	-7.31	55.01
v	12.29	25.67	-2.28
w	-73.51	17.83	10.75
x	-20.91	-20.43	37.79
y	-23.80	-21.39	23.13
z	26.27	68.76	3.67
0	-90.38	59.29	40.98

Tabelle 49 zeigt den Abstand der Mittelwerte der einzelnen Landmarken zwischen den Untersuchern

F.K.	Untersucher 1	Untersucher 2	Abstand
a	1.1150	1.5310	3.2199
b	0.6026	1.1103	1.4323
c	0.5598	0.3060	0.6931
d	0.3392	0.4125	1.0234
e	0.5071	0.3979	1.0219
f	0.3471	0.3390	0.7694
g	1.4685	1.5040	3.0046
h	0.7904	1.6509	1.8732
i	0.5609	0.4901	0.2641
j	0.3927	0.1939	0.8366
k	0.7319	1.5148	0.8784
l	0.6189	2.1283	0.4298
m	0.8398	0.4682	0.6972
n	0.6387	0.4289	0.8218
o	0.8143	0.3942	0.2597
p	0.3682	0.2352	0.3165
q	0.5601	0.1764	0.5874
r	0.2685	0.1655	0.3457
s	0.4531	0.3096	1.1046
t	0.4514	0.4647	0.6440
u	0.4591	0.3992	0.8053
v	1.9303	2.2837	3.7131
w	2.2369	2.6113	1.4293
x	0.7519	0.8290	0.5465
y	1.1675	1.4204	0.8161
z	0.7822	1.4786	3.6955
O	1.6609	1.5310	2.5127

Ergebnisse Z.L.

Die Tabellen 50 – 55 zeigen die Koordinaten der Landmarken an den einzelnen Tagen

Tag 1			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-18.42	109.42	68.80
b	-16.36	101.74	59.28
c	-5.27	106.64	53.25
d	-29.91	99.67	54.29
e	11.63	117.11	48.75
f	-48.93	96.38	51.43
g	6.63	101.82	47.10
h	-35.52	89.11	48.99
i	-11.45	84.07	56.45
j	-11.21	82.76	48.90
k	-3.04	90.10	47.46
l	-21.06	82.62	48.52
m	-7.10	86.47	45.84
n	-16.10	82.73	46.71
o	-8.67	72.34	30.69
p	-8.54	75.35	41.75
q	-5.34	77.35	41.59
r	-11.41	74.89	42.14
s	-9.88	76.07	35.29
t	1.82	81.01	31.37
u	-21.82	72.53	32.13
w	-57.12	88.19	-0.53
x	-7.54	70.69	22.61
y	-8.30	70.05	14.00
z	17.95	142.12	9.81
0	-72.10	110.57	7.91

Tag 2			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-18.94	112.37	72.65
b	-16.52	102.60	59.97
c	-5.03	107.34	53.11
d	-29.55	99.71	54.18
e	11.38	116.98	48.75
f	-49.58	96.24	50.89
g	5.97	102.35	47.60
h	-35.31	88.86	48.84
i	-10.94	84.98	57.16
j	-11.40	82.80	48.63
k	-3.02	91.73	47.26
l	-21.77	83.33	48.94
m	-7.39	86.49	46.11
n	-17.10	83.06	46.57
o	-8.56	72.65	31.13
p	-8.57	75.54	42.01
q	-5.63	77.77	42.35
r	-11.73	75.09	42.39
s	-9.74	76.03	35.54
t	1.80	81.01	31.16
u	-22.91	72.07	31.82
v			
w	-55.99	86.93	0.86
x	-8.51	70.43	22.73
y	-8.35	68.62	17.87
z	17.88	141.80	8.45
0	-72.61	111.71	8.90

Tag 3			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-19.73	109.13	69.07
b	-16.85	101.85	59.55
c	-5.33	106.30	53.26
d	-29.80	99.29	53.86
e	11.50	116.74	48.55
f	-49.70	96.06	50.39
g	5.69	102.55	47.76
h	-36.32	89.32	49.16
i	-11.55	84.19	56.67
j	-11.58	83.00	47.56
k	-2.91	91.39	46.71
l	-21.31	82.91	49.18
m	-6.90	86.29	45.58
n	-17.68	83.00	45.45
o	-9.04	72.08	30.97
p	-8.56	75.19	41.45
q	-5.41	77.42	41.77
r	-12.27	74.72	41.95
s	-9.51	75.01	37.33
t	2.07	81.07	31.18
u	-22.97	72.53	30.25
v			
w	-57.00	87.79	-0.05
x	-8.67	69.95	21.88
y	-8.90	69.59	14.44
z	18.12	142.22	10.64
0	-72.36	111.11	8.49

Tag 4			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-18.98	111.00	70.28
b	-16.73	102.41	59.92
c	-5.46	106.32	53.35
d	-29.54	99.32	53.94
e	11.66	116.99	48.59
f	-49.24	96.11	50.65
g	5.75	102.09	47.56
h	-36.68	89.06	48.84
i	-11.25	84.52	56.90
j	-11.17	82.75	48.96
k	-3.12	91.60	47.60
l	-21.51	83.47	49.48
m	-6.35	86.79	45.55
n	-17.51	83.02	45.49
o	-8.94	72.49	29.90
p	-8.34	75.46	41.79
q	-5.38	77.35	41.64
r	-11.97	74.75	41.98
s	-9.34	75.04	37.54
t	1.72	80.99	31.15
u	-22.64	72.32	31.47
v			
w	-55.08	85.76	1.89
x	-8.89	70.44	22.86
y	-8.85	69.38	14.89
z	18.11	142.91	10.68
0	-72.65	111.74	9.05

Tag 5			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-18.90	110.53	69.87
b	-16.66	101.89	59.51
c	-5.49	107.06	53.43
d	-29.88	99.37	53.89
e	11.31	116.81	48.70
f	-48.62	96.14	50.82
g	6.44	102.68	47.54
h	-37.50	88.71	48.70
i	-11.78	84.39	57.00
j	-11.47	82.87	48.31
k	-3.00	91.45	47.12
l	-22.90	84.94	46.67
m	-6.73	86.75	45.82
n	-16.93	82.98	45.56
o	-8.59	72.41	30.66
p	-8.94	75.37	41.87
q	-5.58	77.42	41.96
r	-12.46	74.90	42.18
s	-9.32	76.36	35.16
t	1.95	81.06	30.71
u	-22.46	72.30	31.87
v			
w	-54.45	84.72	2.63
x	-8.32	70.35	22.42
y	-8.38	69.73	14.58
z	18.11	142.82	10.74
0	-72.45	111.23	8.78

Tag 12			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-19.59	110.62	70.16
b	-17.16	102.19	59.94
c	-5.76	106.61	53.59
d	-29.48	99.15	53.84
e	11.53	116.84	48.58
f	-49.30	96.19	50.84
g	6.08	102.34	47.56
h	-37.65	88.83	48.92
i	-11.85	84.58	57.13
j	-11.37	83.00	48.01
k	-2.97	91.46	47.01
l	-21.74	83.36	49.03
m	-6.34	86.75	45.47
n	-16.94	82.97	45.55
o	-8.47	72.54	30.69
p	-8.81	75.47	41.96
q	-5.31	77.68	41.91
r	-12.45	74.63	41.84
s	-9.43	75.04	37.39
t	2.13	81.07	31.22
u	-23.00	72.51	30.76
v			
w	-56.40	86.72	2.36
x	-8.20	71.08	23.46
y	-7.63	69.47	15.59
z	17.98	143.00	9.93
0	-72.50	110.84	9.56

Tabelle 56 zeigt den Abstand der Mittelwerte der einzelnen Landmarken zwischen den Untersuchern

L.Z.	Untersucher 1	Untersucher 2	Abstand
a	1.3670	0.7714	2.3633
b	0.4609	0.6388	0.7645
c	0.4296	0.1911	0.2368
d	0.3037	0.2348	0.6192
e	0.1902	0.2812	0.7965
f	0.4329	0.1377	0.5227
g	0.4154	0.7669	1.0165
h	0.8458	0.8542	0.5513
i	0.4605	0.4487	0.5075
j	0.4681	0.2541	1.0539
k	0.5209	1.3134	2.5877
l	1.0424	1.0507	1.4744
m	0.4456	0.2048	0.4505
n	0.6759	0.4565	0.2625
o	0.3974	0.5587	1.6583
p	0.2752	0.1789	0.1161
q	0.2896	0.2231	0.2066
r	0.4211	0.1537	0.6358
s	1.2059	0.7706	2.1397
t	0.2341	0.1683	0.4647
u	0.7116	0.2377	0.4319
v	0.0000	0.0000	0.0000
w	1.6483	1.2941	1.8462
x	0.6467	0.9900	1.1649
y	1.1994	1.0252	0.7330
z	0.8201	3.1406	3.5246
O	0.5870	0.7740	1.1788

Ergebnisse Z.J.

Die Tabellen 56 – 61 zeigen die Koordinaten der Landmarken an den einzelnen Tagen

Tag 1			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-26.38	-18.64	45.12
b	-26.05	-27.74	29.81
c	-14.65	-18.88	18.77
d	-42.64	-26.96	22.64
e	3.48	-8.92	12.70
f	-63.44	-26.46	21.62
g	-2.75	-21.92	8.64
h	-51.04	-34.90	16.38
i	-23.41	-50.74	17.38
j	-24.14	-52.41	8.43
k	-11.14	-42.75	8.74
l	-37.81	-49.43	11.15
m	-15.33	-46.09	5.23
n	-34.80	-49.78	7.33
o	-25.31	-62.11	-20.04
p	-22.86	-58.26	-1.20
q	-19.52	-56.79	-1.77
r	-27.25	-58.07	-0.42
s			
t	-13.44	-47.66	-16.76
u	-42.08	-53.96	-13.04
v	6.69	-14.15	-56.88
w			
x	-24.82	-67.87	-32.31
y	-24.79	-69.12	-40.39
z	12.45	23.89	-38.28

Tag 2			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-25.50	-17.09	46.85
b	-26.78	-28.77	28.93
c	-14.52	-18.62	18.74
d	-43.13	-26.21	22.59
e	3.62	-8.73	13.65
f	-64.20	-25.92	21.55
g	-3.49	-22.08	9.04
h	-51.12	-35.05	16.28
i	-23.28	-50.62	17.39
j	-24.17	-52.37	8.57
k	-11.33	-42.36	9.50
l	-37.81	-49.07	11.46
m	-15.16	-45.64	5.54
n	-35.10	-49.90	8.05
o	-24.26	-62.57	-17.45
p	-23.08	-58.35	-1.26
q	-19.71	-56.81	-1.19
r	-27.45	-58.02	-0.43
s			
t	-12.72	-47.95	-16.02
U	-41.46	-53.79	-11.88
v	6.17	-10.98	-58.49
w			
x	-25.88	-67.33	-30.87
y	-25.73	-69.28	-39.67
z	12.26	24.43	-38.80

Tag 3			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-26.49	-18.06	45.99
b	-26.15	-28.62	28.88
c	-14.59	-18.63	19.00
d	-42.80	-26.50	22.61
e	4.34	-7.98	12.75
f	-64.16	-26.79	21.23
g	-2.90	-23.39	7.67
h	-52.23	-36.46	15.31
i	-23.90	-49.20	18.65
j	-24.22	-52.40	8.45
k	-11.13	-42.72	8.75
l	-37.59	-49.52	11.58
m	-15.33	-45.88	5.43
n	-34.15	-50.02	8.32
o	-25.05	-61.89	-20.45
p	-18.87	-56.19	-0.90
q	-23.66	-58.35	-0.39
r	-28.07	-57.91	-0.65
s			
t	-13.45	-47.57	-16.56
u	-41.98	-53.98	-11.27
v	12.26	-28.44	-29.35
w			
x	-26.05	-67.51	-31.17
y	-26.89	-67.90	-41.71
z	12.29	23.78	-38.92

Tag 4			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-26.93	-17.68	46.78
b	-26.11	-27.95	29.59
c	-14.56	-19.02	18.45
d	-42.77	-26.41	22.73
e	3.64	-8.74	13.34
f	-64.38	-26.12	21.50
g	-3.68	-22.99	8.41
h	-52.84	-35.82	15.75
i	-23.34	-51.21	17.01
j	-23.96	-52.33	8.68
k	-11.07	-41.86	8.35
l	-37.29	-49.75	11.60
m	-15.29	-45.86	5.39
n	-34.95	-49.80	6.89
o	-25.25	-62.11	-20.04
p	-23.53	-58.45	-0.94
q	-18.55	-56.22	-2.40
r	-28.38	-57.89	-0.92
s			
t	-13.04	-47.96	-15.69
u	-42.31	-54.01	-13.11
v	7.28	-10.69	-56.72
w			
x	-25.77	-66.74	-29.97
y	-26.81	-67.35	-42.88
z	12.56	24.21	-37.84

Tag 5			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-26.76	-18.12	46.05
b	-26.53	-28.71	28.92
c	-14.70	-18.85	18.86
d	-42.98	-26.56	22.46
e	3.82	-8.52	13.19
f	-63.76	-26.56	21.47
g	-2.67	-23.75	7.37
h	-52.87	-36.20	15.46
i	-22.81	-50.55	17.16
j	-24.25	-52.33	8.68
k	-10.90	-41.48	7.57
l	-38.33	-48.48	10.10
m	-14.52	-45.19	5.29
n	-34.69	-49.80	7.38
o	-24.91	-62.18	-19.66
p	-23.28	-58.42	-1.27
q	-18.63	-56.23	-2.18
r	-27.66	-58.06	-0.84
s			
t	-12.66	-47.99	-16.32
u	-42.18	-53.87	-11.69
v	7.00	-11.71	-56.95
w			
x	-25.88	-67.19	-30.65
y	-26.58	-68.65	-40.58
z	12.68	25.37	-37.97

Tag 12			
Label	Coord-X	Coord-Y	Coord-Z
a	-27.28	-19.50	44.21
b	-26.59	-28.67	28.99
c	-14.30	-18.35	18.16
d	-42.60	-26.44	22.86
e	4.16	-8.05	13.41
f	-63.60	-26.75	21.53
g	-0.53	-22.85	6.75
h	-52.20	-36.48	15.26
i	-23.24	-51.01	17.08
j	-23.75	-52.28	8.83
k	-10.98	-41.69	7.92
l	-37.87	-49.38	10.45
m	-14.68	-45.24	5.28
n	-35.07	-49.75	7.19
o	-24.64	-62.44	-18.58
p	-23.03	-58.35	-1.39
q	-19.11	-56.51	-1.70
r	-27.98	-57.89	-0.45
s			
t	-12.61	-47.99	-15.32
u	-41.74	-53.80	-12.74
V	7.06	-14.50	-56.21
w			
X	-25.22	-67.68	-31.62
y	-25.71	-69.27	-39.97
z	13.24	25.12	-36.80

Tabelle 62 zeigt den Abstand der Mittelwerte der einzelnen Landmarken zwischen den Untersuchern

J.Z.	Untersucher 1	Untersucher 2	Abstand
a	1.0924	2.3294	1.4101
b	0.5825	0.4126	0.6522
c	0.3356	0.3440	0.8425
d	0.2785	0.3620	0.7220
e	0.5230	0.4475	1.0087
f	0.4672	0.1932	1.6060
g	1.3374	0.9640	3.4268
h	1.0317	1.1750	1.5025
i	0.6968	0.5665	0.6892
j	0.2069	0.2109	0.7486
k	0.7586	0.8546	1.7150
l	0.6839	1.7587	0.7265
m	0.4499	0.8241	0.7963
n	0.5231	0.4925	0.4607
o	0.9835	0.4570	0.2720
p	1.3500	0.5444	0.1546
q	1.5074	0.3952	0.7421
r	0.4113	0.2740	1.5296
s	0.0000	0.0000	0.0000
t	0.5922	0.4496	1.2680
u	0.7484	0.2282	0.6810
v	9.1519	3.4315	10.2949
w	0.0000	0.0000	0.0000
x	0.8230	0.7245	0.3807
y	1.4152	1.3383	1.0467
z	0.8963	0.8134	4.3182
O	0.0000	0.0000	0.0000